



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO
AMBIENTE
DOUTORADO EM ASSOCIAÇÃO PLENA EM DESENVOLVIMENTO E
MEIO AMBIENTE**



SINDIANY SUELEN CADUDA DOS SANTOS

**MODELAGEM DE DISTRIBUIÇÃO POTENCIAL E MORFOMETRIA
GEOMÉTRICA DAS POPULAÇÕES FLORÍSTICAS DE MANGUES NO
LITORAL SUL DE SERGIPE, BRASIL**

São Cristóvão – Sergipe
2016



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO
AMBIENTE
DOUTORADO EM ASSOCIAÇÃO PLENA EM DESENVOLVIMENTO E
MEIO AMBIENTE**



SINDIANY SUELEN CADUDA DOS SANTOS

**MODELAGEM DE DISTRIBUIÇÃO POTENCIAL E MORFOMETRIA
GEOMÉTRICA DAS POPULAÇÕES FLORÍSTICAS DE MANGUES NO
LITORAL SUL DE SERGIPE, BRASIL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutora em Desenvolvimento e Meio Ambiente pela Universidade Federal de Sergipe.

Orientadora: Dra. Rosemeri Melo e Souza

Coorientador: Dr. Edilson Divino de Araújo

São Cristóvão – Sergipe

Fevereiro/ 2016

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE**

S237m Santos, Sindiany Suelen Caduda dos
Modelagem de distribuição potencial e morfometria geométrica das
populações florísitcas de mangues no litoral sul de Sergipe, Brasil /
Sindiany Suelen Caduda dos Santos ; orientadora Rosemeri Melo e Souza.
– São Cristovão, 2016.
200 f. :il.

Tese (doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) –
Universidade Federal de Sergipe, 2016.

1. Mangues florestais - Sergipe. 2. Plasticidade fenotípica - folhas. 3.
Ecologia dos manguezais – Clima - Influência. I. Souza, Rosemeri Melo
e, orient. II. Título.

CDU 502:633.876(813.7)



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO
AMBIENTE
DOUTORADO EM ASSOCIAÇÃO PLENA EM DESENVOLVIMENTO E
MEIO AMBIENTE**

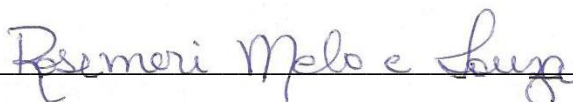


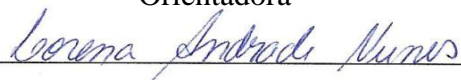
SINDIANY SUELEN CADUDA DOS SANTOS


**MODELAGEM DE DISTRIBUIÇÃO POTENCIAL E MORFOMETRIA
GEOMÉTRICA DAS POPULAÇÕES FLORÍSTICAS DE MANGUES NO
LITORAL SUL DE SERGIPE, BRASIL**

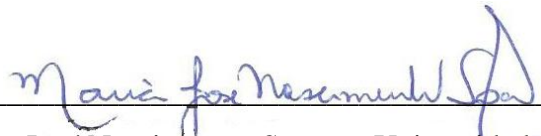
Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, como requisito final para obtenção do título em Doutora em Desenvolvimento e Meio Ambiente pela Universidade Federal de Sergipe.
Aprovada em 24 de fevereiro de 2016.

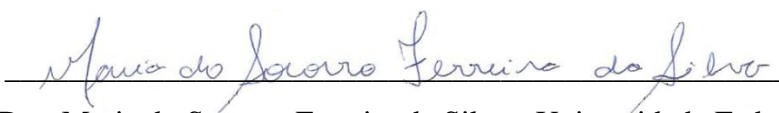
BANCA EXAMINADORA


Dra. Rosemeri Melo e Souza - Universidade Federal de Sergipe
Orientadora


Dra. Lorena Andrade Nunes - Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Examinadora externa


Dra. Marta Vieira Farias - Universidade Federal de Sergipe
Examinadora externa

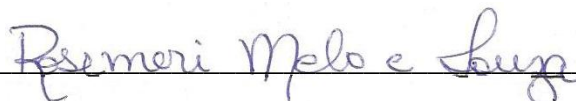

Professora Dra. Maria José Nascimento Soares - Universidade Federal de Sergipe
Examinadora interna


Professora Dra. Maria do Socorro Ferreira da Silva - Universidade Federal de Sergipe
Examinadora interna

São Cristóvão – Sergipe

Fevereiro/ 2016

Este exemplar corresponde à versão de Tese de Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente concluído no Programa em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA) da Universidade Federal de Sergipe (UFS).



Dra. Rosemeri Melo e Souza - Universidade Federal de Sergipe
Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA
Universidade Federal de Sergipe



Dr. Edilson Divino de Araújo
Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia da Rede Nordeste de Biotecnologia –
RENORBIO
Universidade Federal de Sergipe

É concedido ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA) da Universidade Federal de Sergipe (UFS) responsável pelo Curso de Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente permissão para disponibilizar, reproduzir cópia desta Tese e emprestar ou vender tais cópias

Sindiany Suelen Caduda dos Santos

Sindiany Suelen Caduda dos Santos
Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA
Universidade Federal de Sergipe

Rosemeri Melo e Souza

Dra. Rosemeri Melo e Souza - Universidade Federal de Sergipe
Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA
Universidade Federal de Sergipe

Edilson Divino de Araújo

Dr. Edilson Divino de Araújo
Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia da Rede Nordeste de Biotecnologia –
RENORBIO
Universidade Federal de Sergipe

DEDICATÓRIA

*A Deus, que me fez escrever cada palavra.
A mim mesma, por ter enfrentado tantos desafios.
Às pessoas que, por amor, suportaram meus picos de humor.*

AGRADECIMENTOS

Obrigada Deus por conceder-me a graça da sabedoria e pelas lágrimas de felicidade na concretude desta tese.

Obrigada à minha querida orientadora e amiga de fé e vida, professora Rosemeri Melo e Souza. Se o tempo voltasse e eu estivesse na graduação, escolheria a senhora como minha orientadora para trilhar todo o percurso juntas novamente.

Muito obrigada ao meu grande coorientador, professor Edilson Divino de Araújo. Fazer a disciplina de morfometria geométrica com o senhor foi a chave para novos horizontes na biologia e para o engrandecimento da minha pesquisa de doutoramento.

Meu agradecimento àquela que foi a responsável pela manutenção financeira da minha pesquisa através da concessão de bolsa: FAPITEC/SE.

Obrigada ao meu amor maior desta vida, minha mãe, Maria Silvânia Caduda.

Agradeço ao meu Amado marido, Fred Alves, por quatro anos de tese vivenciados com todos os picos de humor que uma tese é capaz de gerar. Seu companheirismo e carinho sempre influenciaram em tudo.

Obrigada ao meu pai José Caduda. O senhor ajudou-me a subir os degraus da carreira acadêmica.

Obrigada à minha sogra Meire Santos pelo carinho da repetida frase: “deixe tudo aí e vá para o computador”.

Obrigada aos meus irmãos Danilo Caduda, Saulo dos Santos e Suziany Caduda, porque vocês nunca deixaram de torcer pelo meu sucesso.

Obrigada aos guerreiros das coletas de campo: ao meu esposo, Fred Alves, por ter ajudado-me a superar medos; ao sr. Gerson, este pescador ensinou-me como entrar no manguezal e como sair da lama quando ela estava na cintura; ao Paulo pelas coletas, disposição de sempre e pelas belas fotos; à Carol, a mais rápida de todos os integrantes do campo e a mais corajosa; à Maíra, pelos olhos de águia que enxergavam tudo; ao Fernando por aceitar o desafio de trabalhar no manguezal; ao colega biólogo do Geoplan Vinícius, pela disponibilidade de ajudar nas coletas e pela partilha de conhecimentos. Obrigada também aos que não desceram do barco, mas levaram a

alegria da companhia: meu irmão Danilo, minha prima Dora e à minha colega do Geoplan, Geise Castro.

Obrigada àquela que também tornou possível a realização dos meus trabalhos de campo a partir da parceria com o Geoplan/UFS e, principalmente, da concessão de todo apoio logístico necessário para a execução dos trabalhos de coleta: Fundação Mamíferos Aquáticos. Meu agradecimento especial à Jociery Parente pela confiança, pelos ensinamentos e pelas oportunidades de aprendizagem que me proporcionou ao abrir as portas da FMA. Também sou grata especialmente aos pesquisadores da Instituição que contribuíram com a minha pesquisa, através de conversas e até mesmo das idas ao campo: Gabriela Valenzuela, Fabíola Nascimento e Bruno Almeida.

Meu agradecimento especial a Lorena Nunes, “amiga morfométrica” de reuniões por skype e telas compartilhadas!

Obrigada aos pesquisadores do Geoplan pela troca de conhecimentos desde 2008. Agradeço especialmente à colaboração essencial e aos ensinamentos dos pesquisadores do grupo do café: Eline, Douglas, Felipe Melo e Wandison.

São poucas as palavras para escrever acerca do tamanho do privilégio em agradecer a uma das três *cajazeiras* do manguezal: Solange Alves Nascimento. Professora, suas histórias de “vida mangue”, seus livros e seu amor pelo manguezal sempre me encheram de emoção.

Obrigada ao PRODEMA/UFS e a todos os professores que fazem parte deste Programa, especialmente à coordenadora professora Maria José Soares, quem eu vejo cuidar desta casa com tanto amor.

Obrigada à minha querida Pastora da Igreja do Evangelho Quadrangular, Gislene pelo carinho e pelos ensinamentos da caminhada da vida com Deus.

Obrigada a todos os colaboradores desta tese que me disseram “SIM” em todos os momentos que precisei de ajuda, especialmente aos professores Leandro Souto, do departamento de Ecologia da UFS, Adauto Souza Ribeiro, Ana Paula Prata, Carmem Parissoto e ao professor Marcos Vinícius Aragão Batista.

Sou grata também à minha colega ecóloga Rafaela, pelas conversas de estatística em e sucos!

Aos técnicos do departamento de biologia da UFS que sempre me atenderam com atenção: Eládio, Genilda e João. Agradeço especialmente à bióloga Marta pelas conversas, conselhos, compreensão e ajuda de sempre.

Às meninas do PRODEMA: Val pela luta em conseguir os carros para os meus trabalhos de campo; e Luzia pela autenticidade de sempre.

Obrigada às minhas colegas Prodemianas pelas conversas de corredor sobre o assunto “tese”: Ronise e Isabel.

Obrigada às minhas amigas que estiveram do meu lado de alguma forma nestes quatro anos de doutorado: Letícia Marteis, Ana Christina, professora Jenny Dantas e Maria do Socorro.

VIDA DE MANGUE

*raiz que sobe
raiz que desce
num forte enlace
raiz que cresce
buscando o sol
raiz que finca
seu pé na lama
e forma trama
de aranhol
planta que traga
o sal da água
planta que exsuda
o sal na folha
galho que toca
da água o rés
e água que sobe
com as marés
lama estranha
e que se entranha
em nossos pés
vida diurna
vida noturna
a fervilhar
mundo operário
infatigável
a fabricar
o alimento
pra preamar
onde o avanço
é retrocesso
e o balanço
é o sucesso*

Arthur Soffiati (1947)

RESUMO

Os manguezais são ecossistemas heterogêneos, complexos e detentores de relevância ecológica, social e econômica. Esta assertiva suscitou a investigação das respostas dos mangues às variações ambientais tanto em macroescala, como em microescala. Para tanto, de forma geral, a pesquisa investigou a atuação do clima e do nível relativo do mar sobre a distribuição potencial de *Avicennia* L.; *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn.f.; e *Rhizophora mangle* L., no litoral das regiões norte e nordeste do Brasil, na escala temporal 6.000 antes do presente (A.P.), 2015 e 2050, bem como a plasticidade fenotípica das folhas dos mangues do complexo estuarino Real-Piauí-Fundo, decorrentes de fatores abióticos e antropogênicos que afetam populações florísticas no litoral sul de Sergipe, Brasil. O método dedutivo e a Teoria Geral dos Sistemas constituíram o fio condutor teórico para construção da pesquisa. Na análise da influência de requerimentos climáticos e de influência no nível relativo do mar para distribuição potencial dos mangues, os modelos gerados a partir da ferramenta de Máxima Entropia (MAXENT) mostraram variações de áreas de adequabilidade nos distintos cenários. Eles também destacaram a influência da temperatura anual e da distância vertical à drenagem mais próxima como variáveis de importância nas previsões. Por outro ângulo, para verificar a ocorrência de variações de forma e tamanho das folhas de mangues nos estuários inferior, médio e superior do complexo estuarino Real-Piauí-Fundo, a fim de examinar a plasticidade fenotípica das folhas e de que maneira os padrões de variação estão relacionados aos fatores sedimentológicos, climáticos e de salinidade da água, foram coletadas e analisadas amostras da flora, de sedimento, água e de 450 folhas para *A. schaueriana* Stapf e Laechm, 600 para *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn.f.e e 600 para *Rhizophora mangle* L. Na análise morfométrica foram utilizados 3 marcos e 16 semimarcos anatômicos ao longo da folha previamente digitalizada. As análises revelaram que tanto a forma da lâmina foliar, como o tamanho das folhas apresentaram variações significativas entre os três estuários ($p<0.01$). Logo, mesmo em microescala, ocorrem tendências de variação na forma e tamanho das folhas de mangues nas três áreas de amostragem, submetidas às diferentes pressões ambientais. Quanto à forma e tamanho, não existiu efeito de alometria ($p<0.01$). Com o propósito de avaliar a vulnerabilidade dos mangues do complexo estuarino, em meio aos tensores antropogênicos e a possível relação destes com a plasticidade fenotípica foliar, a metodologia foi construída a partir de observações sistemáticas; da fixação de atributos de tensão antrópica; da determinação de pesos para o conjunto de tensores antropogênicos atuantes sobre os mangues; do estabelecimento de níveis de vulnerabilidade; e das análises de regressão linear entre forma, tamanho e tensores antrópicos. O setor de maior vulnerabilidade é o estuário superior. Porém, todas as áreas estão submetidas aos riscos das ações humanas. Os resultados apontaram também que tanto a forma como o tamanho das folhas de *A. schaueriana* e *R. mangle* possuíram valores significativos ($p<0.01$), ao contrário da *L. racemosa*. Ao concluir e fazer sugestões, a tese indica que é possível reconstruir a história ecológica dos ambientes, entender os fenômenos do presente, tanto a partir da modelagem preditiva, como das avaliações morfogeométricas, e subsidiar ações de conservação dos mangues, a fim de evitar futuras perdas da flora de manguezal.

Palavras-chave: Mangues. Modelagem Preditiva. Morfometria geométrica. Vulnerabilidade. Brasil. Sergipe.

ABSTRACT

Mangroves are heterogeneous, complex ecosystems and detainers of ecological, social and economic relevance. This argument evoked the investigation of the responses of the mangroves to the environmental variations as much in macroscale as in microscale. For this purpose, in general, the research investigated the action of the weather and of the relative sea level over the potential distribution of *Avicennia* L.; *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn f.; and *Rhizophora mangle* L., on the northern and northeastern Brazilian coasts, in the time scale 6.000 before present, 2015 and 2050, as well as the phenotypic plasticity of the leaves of the mangroves of Real-Piauí-Fundo estuary complex, due to abiotic and anthropogenic factors that affect the floristic populations on the Southern coast of Sergipe, Brazil. The deductive method and the General Systems Theory have built the theoretical line for the research. On the analysis of the influence of climatic requirements and the influence on the relative sea level for the potential distribution of mangroves, the models generated from this tool of maximum entropy (MAXENT) showed variations of adequability areas in different scenarios. They also highlighted the influence of the annual temperature and the vertical distance to the nearest drainage as important variables on the predictions. From another point of view, to verify the occurrence of variations of shape and size on the leaves of the mangroves on the inferior, middle and superior estuaries of the Real-Piauí-Fundo estuary, in order to examine the phenotypic plasticity of the leaves, and which way the variation patterns are related to the sedimentological, climatic, and salinity of the water factors, samples of the flora, of sediment, of water, and of 450 leaves of *A. schauerianna* Stapf and Laechn, 600 leaves of *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn f, and 600 for *Rhizophora mangle*. In the morphometric analysis, 3 anatomic marks and 16 anatomic semimarks were used on the previously digitalized leaf. The analyses revealed that both the leaf lamina and the size of the leaf showed significant variations among the three estuaries ($p < 0.01$). Then, even in microscale, tendencies of variation in shape and size of the leaves of the mangroves in the three sampling areas occur, submitted to various environmental pressures. With the purpose of evaluating the vulnerability of the mangroves of estuary complex, among anthropogenic tensors and the possible relation of these tensors with the phenotypic plasticity of the leaf, the methodology was created from systematic observations; from the fixation of attributes of anthropic tension; from the setting of weights for the group of anthropogenic tensors acting on mangroves; from the establishment of levels of vulnerability; and from the analyses of linear regression among shape, size and anthropic tensors. The sector with higher vulnerability is the superior estuary. But, all the areas are submitted to the risks of human actions. The results also showed that both the shape and the size of the leaves of *A. schauerianna* and *R. mangle* had significant values ($p < 0.01$), in contrast to *L. racemosa*. When concluding and making suggestions, the thesis indicates it's possible to recreate the ecological history of the environments, to understand the phenomena of the present, both from the predictive modeling, and from the morphogeometric evaluations, and subsidize actions of the mangrove conservations, in order to avoid future losses of the mangrove flora.

Keywords: Mangroves. Predictive Modeling. Phenotypic Plasticity. Vulnerability. Sergipe.

RESUMEN

Los manglares son ecosistemas heterogéneos, complejos y titulares de relevancia ecológica, social y económica. Esta afirmación tiene llevado a la investigación de los manglares a los cambios ambientales, tanto en macroescala, como microescala. Por lo tanto, de forma general, el estudio investigó el papel del clima y el nivel relativo del mar en la distribución potencial de *Avicennia* L., *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn.f. y *Rhizophora mangle* L., en la costa de las regiones del norte y noreste del Brasil, en la escala de tiempo 6000 años antes del presente (A.P), 2015 y 2050, y la plasticidad fenotípica de las hojas de los mangles del complejo Real-Piauí-Fundo de estuarios, debido del factores abióticos y antropogénicos que afecta poblaciones florísticas en la costa sur de Sergipe, Brasil. El método deductivo y la Teoría de los sistemas generales fueron el hilo conductor teórico para la construcción de la investigación. En la análisis de la influencia de los requerimientos climáticos y la influencia del nivel relativo del mar para la distribución potencial de los manglares, los modelos generados a partir de la herramienta de Máxima Entropía (MAXENT) mostró variaciones adecuadas de las zonas en diferentes escenarios. También destacaron la influencia de la temperatura anual y la distancia vertical para el drenaje más cercano como variables importantes en las predicciones. Desde otro punto de vista, para verificar la ocurrencia de variaciones en el forma y tamaño de las hojas de manglares en los estuarios más bajos, medios y altos de estuario compleja Real-Piauí-Fundo con el fin de examinar la plasticidad fenotípica de las hojas y cómo los patrones de variaciones están relacionadas con factores sedimentológicos, climáticos y la salinidad del agua, se recogieron y analizaron muestras de la flora, sedimentos, agua y 450 hojas de *Avicennia schaueriana* Stapf y Laechn., 600 *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn.f y 600 para *Rhizophora mangle* L. En la análisis morfométrica se utilizaron 3 puntos de referencia y 16 semimarcos anatómicos a lo largo de la hoja escaneada con anterioridad. Las análisis reveló que ambas las formas de la lámina como el tamaño de las hojas había diferencias significativas entre los tres estuarios ($p < 0,01$). Al poco tiempo, incluso a microescala, hay diferentes tendencias en la forma y tamaño de las hojas de mangle en tres áreas de muestreo sometidas a diferentes presiones ambientales. En cuanto a la forma y tamaño, no hubo ningún efecto alometría ($p < 0,01$). Con el fin de evaluar la vulnerabilidad de complejo de manglares del estuario, entre los factores antropogénicos y la posible relación de estos con la plasticidad fenotípica de la hoja, la metodología se construyó a partir de observaciones sistemáticas; la fijación de los atributos de las presiones antropogénicas; en la determinación de pesos para el conjunto de factores antropogénicos sobre los manglares; el establecimiento de niveles de vulnerabilidad; y de las análisis de regresión lineal de la forma, tamaño y factores hechos por el hombre. El sector más vulnerable es el estuario superior. Sin embargo, todas las áreas están sujetas a los riesgos de las acciones humanas. Los resultados también mostraron que tanto la forma y el tamaño de las hojas de *A. schaueriana* y *R. mangle* poseían valores significativos ($p < 0.01$), la diferencia de la *L. racemosa*. Para finalizar, y hacer sugerencias, la tesis muestra que es posible reconstruir la historia ecológica de los ambientes, comprender los fenómenos del presente, tanto desde el modelado predictivo, de las evaluaciones morfométricas, y subsidiar las acciones de conservación de los manglares, con el fin de evitar una mayor pérdida de la flora de manglares.

Palabras-clave: Manglares. El Modelo Predictivo. Morfometría geométrica. Vulnerabilidad. Brasil. Sergipe.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Localização e pontos de coleta nas áreas de manguezal investigadas: estuários inferior, médio e superior.....	39
Figura 1.2: Fluxograma dos procedimentos metodológicos.....	47
Figura 3.1: Modelos de distribuição potencial da <i>Avicennia</i> sp. nos períodos: 6.000 A.P., 2015 e 2050.....	101
Figura 3.2: Modelos de distribuição potencial da <i>Laguncularia racemosa</i> . nos períodos: 6.000 A.P., 2015 e 2050.....	102
Figura 3.3: Modelos de distribuição potencial da <i>Rhizophora mangle</i> nos períodos: 6.000 A.P., 2015 e 2050.....	103
Figura 4.1: Distribuição da flora de manguezal no complexo estuarino Real-Piauí-Fundo: <i>Avicennia schaueriana</i> , <i>Laguncularia racemosa</i> e <i>Rhizophora mangle</i>	119
Figura 4.2: Folha e régua posicionadas no Transluminador L-Pix.....	124
Figura 4.3: Posição dos três marcos anatômicos (1- 3) e dos dezesseis semimarcos (4 – 19), respectivamente, nas folhas de <i>Avicennia schaueriana</i> , <i>Laguncularia racemosa</i> e <i>Rhizophora mangle</i>	126
Figura 4.4: Análise de Componentes Principais, correlacionando as variáveis de solo e a espécie de <i>Avicennia schaueriana</i> , nos estuários inferior, médio e superior do complexo estuarino Real-Piauí-Fundo, Sergipe.....	131
Figura 4.5: Análise de Componentes Principais, correlacionando as variáveis de solo e a espécie de <i>Laguncularia racemosa</i> , nos estuários inferior, médio e superior do complexo estuarino Real-Piauí-Fundo, Sergipe.....	132
Figura 4.6 Análise de Componentes Principais, correlacionando as variáveis de solo e a espécie de <i>Rhizophora mangle</i> , nos estuários inferior, médio e superior do complexo estuarino Real-Piauí-Fundo, Sergipe.....	133
Figura 4.7: Análise de Componentes Principais (ACP) do componente simétrico da folha e distribuição das amostras coletadas para a espécie <i>Avicennia schaueriana</i> nos estuários inferior, médio e superior do complexo estuarino Real-Piauí-Fundo, Sergipe.....	138

Figura 4.8: Análise de Componentes Principais (ACP) do componente simétrico da folha e distribuição das amostras coletadas para a espécie <i>Laguncularia racemosa</i> nos estuários inferior, médio e superior do complexo estuarino Real-Piauí-Fundo, Sergipe.....	139
Figura 4.9: Análise de Componentes Principais (ACP) do componente simétrico da folha e distribuição das amostras coletadas para a espécie <i>Rhizophora mangle</i> nos estuários inferior, médio e superior do complexo estuarino Real-Piauí-Fundo, Sergipe.....	140
Figura 4.10: Boxplot da comparação do tamanho das folhas de <i>Avicennia schaueriana</i> , <i>Laguncularia racemosa</i> e <i>Rhizophora mangle</i> , entre os estuários inferior, médio e superior.....	146
Figura 5.1: Áreas de observação sistemática da atuação dos tensores antropogênicos - complexo estuarino Real-Piauí-Fundo, Sergipe.....	173
Figura 5.2: Vulnerabilidade do manguezal no complexo estuarino Real-Piauí-Fundo e demarcação da Área de Proteção Ambiental do Litoral Sul de Sergipe.....	182

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 2.1: Levantamento da perda de áreas de manguezal entre os anos de 2000 – 2012 no mundo.....	62
Gráfico 4.1: Dendrograma das espécies <i>Avicennia schaueriana</i> , <i>Laguncularia racemosa</i> e <i>Rhizophora mangle</i> , por estuário, obtidos a partir dos valores médios da forma das folhas dos mangues, pelo método de agrupamento UPGMA, com bootstap de 1000 permutações.....	144
Gráfico 5.1: Tensores antropogênicos atuantes nas localidades de investigação do complexo estuarino Real-Piauí-Fundo.....	179
Gráfico 5.2:Conjunto de tensores antropogênicos atuantes nas localidades de investigação do complexo estuarino Real-Piauí-Fundo, para <i>Avicennia schauerianna</i> , <i>Laguncularia racemosa</i> e <i>Rhizophora mangle</i>	183

LISTA DE QUADROS

Quadro 1.1: Pontos de coleta das amostras de folhas das espécies <i>Avicennia schaueriana</i> , <i>Laguncularia racemosa</i> , <i>Rhizophora mangle</i> nos estuários inferior, médio e superior do complexo estuarino Real-Piauí-Fundo, Sergipe.....	40
Quadro 1.2: Descrição das espécies dos mangues <i>Avicennia schaueriana</i> , <i>Laguncularia racemosa</i> e <i>Rhizophora mangle</i>	41
Quadro 2.1: Tipos de serviços ambientais oferecidos pelos manguezais.....	61
Quadro 2.2: Espécies de mangues e classificação de acordo com as categorias da lista vermelha da IUCN.....	64
Quadro 2.3: Descrição geral das Unidades de Conservação brasileiras de Uso Integral e Sustentável.....	74
Quadro 2.4: Descrição geral das Unidades de Conservação sergipanas de Uso Integral e Sustentável.....	79
Quadro 4.1: Descrição dos marcos e semimarcos anatômicos das folhas dos mangues <i>Avicennia schaueriana</i> , <i>Rhizophora mangle</i> L e <i>Laguncularia racemosa</i>	125
Quadro 5.1: Pontos de observação sistemática da atuação de tensores antropogênicos em áreas de manguezal, nos estuários inferior, médio e superior do complexo estuarino Real-Piauí-Fundo, Sergipe.....	174
Quadro 5.2: Níveis de vulnerabilidade biofísica do ecossistema manguezal.....	175
Quadro 5.3: Atributos, indicadores ambientais, níveis de vulnerabilidade e valores de tensão antropogênica do manguezal do litoral sul sergipano.....	176
Quadro 5.4: Conjunto de tensores antropogênicos, somatório dos pesos atribuídos e reescalamento da escala de vulnerabilidade atribuídos aos mangues do litoral sul sergipano.....	177
Quadro 5.5: Caracterização dos tensores, níveis e valores de vulnerabilidade para os mangues nos estuários inferior, médio e superior do complexo estuarino Real-Piauí-Fundo.....	180
Quadro 5.6: Principais fatores de impacto, estruturais e processos ecológicos afetados pelos tensores antropogênicos do Complexo estuarino Real-Piauí-Fundo.....	184

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1: Pontos de coleta de sedimentos/água <i>Avicennia schaueriana</i> , <i>Laguncularia racemosa</i> e <i>Rhizophora mangle</i> no complexo estuarino Real-Piauí-Fundo, Sergipe...	121
Tabela 4.2: População das espécies de mangues <i>Avicennia schaueriana</i> , <i>Laguncularia racemosa</i> e <i>Rhizophora mangle</i> e amostras de folhas investigadas no complexo estuarino Real-Piauí-Fundo, Sergipe.....	124
Tabela 4.3: Valores médios de parâmetros físicos e químicos de solo/água para <i>Avicennia schaueriana</i> , <i>Laguncularia racemosa</i> , <i>Rhizophora mangle</i> nos estuários inferior, médio e superior do complexo estuarino Real-Piauí-Fundo, Sergipe.....	130
Tabela 4.4: Análise de Componentes Principais, correlacionando as variáveis de solo e as espécies de <i>Avicennia schaueriana</i> , <i>Laguncularia racemosa</i> , <i>Rhizophora mangle</i> nos estuários inferior, médio e superior do complexo estuarino Real-Piauí-Fundo, Sergipe.....	134
Tabela 4.5: Variáveis de forma da lâmina foliar nas espécies de mangue. Análise de componentes principais (ACP) dos componentes de variação simétrica de 1650 folhas, com 19 pontos anatômicos (3 marcos e 16 semimarcos) alinhados de acordo com as coordenadas de Procrustes.....	135
Tabela 4.6: Distribuição espacial da forma das folhas de <i>Avicennia schaueriana</i> , <i>Laguncularia racemosa</i> e <i>Rhizophora mangle</i> a partir da validação cruzada da análise discriminante.....	142
Tabela 4.7: Análise de variância do tamanho das folhas de <i>Avicennia schaueriana</i> , <i>Laguncularia racemosa</i> e <i>Rhizophora mangle</i> , dos estuários inferior, médio e superior.....	145
Tabela 4.8: Valor preditivo e significância obtida a partir da análise de regressão linear da forma e tamanho das folhas de <i>Avicennia schaueriana</i> , <i>Laguncularia racemosa</i> e <i>Rhizophora mangle</i> , em relação aos componentes sedimentológicos e de salinidade da água dos estuários inferior, médio e superior.....	148
Tabela 4.9: Valor preditivo e significância obtida a partir da análise de regressão linear da forma e tamanho das folhas de <i>Avicennia schaueriana</i> , <i>Laguncularia racemosa</i> e <i>Rhizophora mangle</i> , em relação à temperatura média anual no Complexo estuarino Real-Piauí-Fundo.....	150

Tabela 5.1: Valor preditivo e significância obtida a partir da análise de regressão linear da forma e tamanho das folhas de <i>Avicennia schaueriana</i> , <i>Laguncularia racemosa</i> e <i>Rhizophora mangle</i> , em relação ao conjunto de tensores antropogênicos dos estuários inferior, médio e superior.....	185
--	-----

LISTA DE SIGLAS

ACP	Análise de Componentes Principais
AD	Análise Discriminante
ADEMA	Administração Estadual do Meio Ambiente
APA	Área de Proteção Ambiental
ASE/UFS	Herbário da Universidade Federal de Sergipe
AUC	Area Under The Curve
CEMESE	Centro de Meteorologia de Sergipe
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CRED	Centro de Pesquisa sobre a Epidemiologia dos Desastres
CTC	Capacidade de Troca Catiônica
DESO	Companhia de Saneamento de Sergipe
DNER	Departamento Nacional de Estradas e Rodagens
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FLONAI	Floresta Nacional do Ibura
GERCO	Programa de Gerenciamento Costeiro
GPS	Sistema de Posicionamento Global
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais
Renováveis	
IBDF	Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal
ICMBio	Instituto Chico Mendes da Biodiversidade
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
ITPS	Instituto Tecnológico de Pesquisa de Sergipe
IUCN	União Internacional para Conservação da Natureza
MAXENT	Máxima Entropia
MMA	Ministério do Meio Ambiente

NRM	Nível relativo do mar
<i>One-way-Anova</i>	Análise de Variância Simples
PC	Componente Principal
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
REBIO	Reserva Biológica de Santa Isabel
ROC	Receiver Operating Characteristic
SDM	Species Distributions Modelling
SEMARH/SE Sergipe	Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos/
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SISNAMA	Sistema Nacional de Meio Ambiente
SNUC	Sistema Nacional de Unidades de Conservação
SRH	Superintendência de Recursos Hídricos
UNEP	United Nations Environment Programme
UPGMA	Análise de Agrupamento
WRI	World Resources Institute

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	xv
LISTA DE GRÁFICOS	xvii
LISTA DE QUADROS.....	xviii
LISTA DE TABELAS.....	xix
LISTA DE SIGLAS.....	xxi
INTRODUÇÃO.....	26
CAPÍTULO 1	35
1.1 O universo da pesquisa: o litoral sul sergipano.....	36
1.2 Área de investigação da pesquisa.....	38
1.4 Método de pesquisa.....	44
REFERÊNCIAS	49
CAPÍTULO 2	51
A FLORESTA DE MANGUES: DO VELHO PARA O NOVO MUNDO	52
2.1 Distribuição dos mangues no mundo	53
2.2 Diversidade plástica da flora do manguezal.....	57
2.3 Diversidade funcional dos manguezais <i>versus</i> degradação das florestas de mangues.....	60
2.4 Manguezais brasileiros e Áreas Protegidas	66
2.5 Cenário das Unidades de Conservação do Brasil (Ucs), a luz do Sistema de Unidades de Conservação brasileiro (Lei nº 9985, de 18 de julho de 2000)	72
REFERÊNCIAS	86
CAPÍTULO 3	94
CENÁRIOS DA DISTRIBUIÇÃO POTENCIAL DE MANGUES NAS REGIÕES NORTE E NORDESTE DO BRASIL A PARTIR DA MODELAGEM DE DISTRIBUIÇÃO POTENCIAL DE ESPÉCIES	95
3.1 INTRODUÇÃO	96
3.2 MATERIAL E MÉTODOS	97
3.3 RESULTADOS	98
3.3.1 Período 6.000 A.P.....	99
3.3.2 Atual - 2015	99
3.3.3 Período 2050	100
3.4 DISCUSSÃO.....	104
3.4.1 Período 6.000 A.P	104
3.4.2 Atual - 2015	105

3.4.3 Período 2050	107
3.5 IMPLICAÇÕES PARA A CONSERVAÇÃO DOS MANGUES	108
REFERÊNCIAS	110
CAPÍTULO 4	112
PLASTICIDADE FENOTÍPICA E MORFOMETRIA GEOMÉTRICA EM FOLHAS DE MANGUES (<i>Avicennia schaueriana</i> Stapf & Leechm., <i>Laguncularia racemosa</i> (L.) Gaertn.F. e <i>Rhizophora mangle</i> L.) DE UM COMPLEXO ESTUARINO, BRASIL .	113
4.1 INTRODUÇÃO	114
4.2 PLASTICIDADE FENOTÍPICA <i>VERSUS</i> SOLO E CLIMA	117
4.3 MATERIAL E MÉTODOS	118
4.3.1 Área de estudo	118
4.3.2 Dados e análise dos fatores bióticos investigados	120
4.3.3 Dados e análise dos fatores abióticos investigados	120
4.3.4 Análise dos dados sedimentológicos e a distribuição das espécies ao longo do complexo estuarino	122
4.3.5 Coleta de dados e análise morfométrica	123
4.4 RESULTADOS	127
4.4.1 Distribuição das espécies em relação às características do sedimento e salinidade da água	128
4.4.2 Análise do componente simétrico da forma foliar	135
4.4.3 Análise de tamanho	144
4.4.4 Análise de forma <i>versus</i> tamanho	147
4.4.5 Significância dos componentes de solo em relação à forma e tamanho das folhas de mangues	147
4.4.6 Significância da variável climática temperatura em relação à forma e tamanho das folhas de mangues	150
4.5 DISCUSSÃO	151
4.5.1 Distribuição das espécies em relação às características sedimentológicas .	151
4.5.2 Análise do componente simétrico da forma da folha	154
4.5.3 Análise de tamanho foliar dos mangues	155
4.5.4 Análise de forma <i>versus</i> tamanho	155
4.5.5 Significância dos componentes de solo e clima em relação à forma e tamanho das folhas de mangues	156
4.6 IMPLICAÇÕES PARA A CONSERVAÇÃO DOS MANGUES	158
REFERÊNCIAS	160
CAPÍTULO 5	166
TENSORES ANTROPOGÊNICOS NO PROCESSO DE TRANSFORMAÇÃO DOS MANGUES DE UM COMPLEXO ESTUARINO: VULNERABILIDADE E VARIAÇÃO MORFOANATÔMICA	167

5.1 INTRODUÇÃO	169
5.2 MATERIAL E MÉTODOS	171
5.2.1 Área de estudo	172
5.2.2 Procedimentos metodológicos	174
5.3 RESULTADOS	178
5.3.1 Vulnerabilidade dos mangues em relação aos tensores antropogênicos – estuário inferior, médio e superior	178
5.3.2 Significância dos tensores antropogênicos em relação à forma e tamanho das folhas de mangues.....	183
5.4 DISCUSSÃO.....	185
5.4.1 Vulnerabilidade e tensores antropogênicos no complexo estuarino Real-Piauí- Fundo	185
5.5 IMPLICAÇÕES PARA A CONSERVAÇÃO DOS MANGUES	192
REFERÊNCIAS	193
CONCLUSÕES E SUGESTÕES	196

INTRODUÇÃO

INTRODUÇÃO

A importância ecológica, social e econômica do manguezal é indiscutível. Detentor de bens e serviços ecossistêmicos diversos, razão pela qual também é chamado de *berçário da biodiversidade aquática*, o manguezal dispõe de potencial bioindicador e plástico que lhe permite sobreviver em ambientes heterogêneos e complexos.

Apesar da relevância, o manguezal sobrevive em meio ao paradoxo de constituir um dos ambientes mais produtivos do mundo (UNEP, 2014) e um dos mais degradados. As florestas de mangues já cobriram cerca de 200.000 quilômetros quadrados (km²) das áreas costeiras tropicais, mas têm sido perdidas em um ritmo de 1 a 2% por ano, principalmente por conta das ações humanas (DUKE et al., 2007).

Em meio à perda da flora endêmica, denominada mangue, as áreas do ecossistema estão cada vez mais fragmentadas ou sujeitas à redução (POLIDORO et al., 2010). Isso ocorre porque as plantas constituem a base do estabelecimento do manguezal e qualquer comprometimento gerado aos mangues coloca em risco a existência de todo sistema ambiental.

Mesmo que os estudos científicos estejam avançados no âmbito da ecologia dos manguezais, persiste a carência de informações que possibilite compreender o potencial distributivo e plástico dos mangues, em resposta às variantes ambientais e antropogênicas as quais estão submetidos. Esta identificação foi deveras importante para decidir averiguar a identidade dos mangues de um complexo estuarino, a fim de propor estratégias de monitoramento e conservação.

Nessa perspectiva, esta tese surgiu com a finalidade de suprir lacunas no âmbito de investigações científicas mais profundas sobre os mangues e da necessidade de estabelecer propostas práticas de proteção e de manutenção da flora endêmica, essencial à existência dos manguezais.

No que se refere à sobrevivência e distribuição da flora nas faixas tropicais e subtropicais do mundo, os mangues sofreram inúmeras transformações adaptativas ao longo do processo evolutivo (ROBERTSON; ALONGI, 1992). A capacidade de subsistir em habitats com condições variáveis é resultante da interação entre traços morfológicos e fatores ambientais, entre eles, o clima, a elevação do nível do mar e a

disponibilidade de nutrientes. Estes aspectos influenciaram diretamente nos processos fisiológicos fundamentais à colonização e desenvolvimento dos mangues (KRAUSS, et al., 2003).

Por outro lado, são esses mesmos fatores fundamentais à ocorrência das espécies, os diretamente afetados por ações antropogênicas, as quais influenciam as propriedades dos indivíduos e as características do ecossistema (CHAPIN, 2003).

Pelas razões apresentadas, a pesquisa analisou o comportamento distributivo dos mangues diante de cenários climáticos distintos, nas regiões norte e nordeste do Brasil, e investigou a plasticidade fenotípica foliar dos bosques de mangues do complexo estuarino Real-Piauí-Fundo, em Sergipe, os quais coexistem com as pressões ambientais e antropogênicas da localidade.

A significância e o pioneirismo em aliar estudos de distribuição potencial de mangues às investigações morfogeométricas foliares possuiu um ponto de partida: enquanto no litoral da região norte do Brasil observam-se os mangues mais desenvolvidos, no nordeste brasileiro, em especial, em Sergipe, são observadas transformações nas feições das florestas de mangues. Isto explica as análises da modelagem distributiva nas duas regiões realizadas, cujo ponto focal de análise concentrou-se no complexo estuarino Real-Piauí-Fundo. Nele, foram realizadas análises da plasticidade fenotípica foliar dos mangues, a partir de técnicas da morfometria geométrica, considerando-se a representatividade destes bosques, em relação às demais localidades de manguezal no estado.

Consoante investigações realizadas pela Administração Estadual do Meio Ambiente - ADEMA (SERGIPE, 1984), Souza e Couto (2002) e Carvalho e Fontes (2006), os manguezais situados na posição geográfica sul do estado sergipano, onde está localizado o complexo estuarino Real-Piauí-Fundo, consistem os mais representativos de Sergipe. Eles são os únicos bosques em estágio de máximo desenvolvimento estrutural, em relação às outras localidades sergipanas (SERGIPE, 1984). Este complexo é considerado como uma das áreas de Sergipe prioritárias para conservação da Zona Costeira (BRASIL, 2002).

Nesse sentido, os bosques de mangues do litoral sul são exuberantes e complexos, com altura variável entre 3 metros (m) a 17,5m, sendo que na bacia do Rio Real estão os mais altos do estado (SERGIPE, 1984; SANTOS, SCHAEFFER-

NOVELLI, 1989). Os mangues que se distribuem no complexo estuarino são: *Avicennia schaueriana* Stapf. & Leech, *Avicennia germinans* L., *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn.f. e *Rhizophora mangle* L. Destas espécies, as duas últimas são dominantes (SERGIPE, 1984).

Nessa localidade, além de serem considerados como Áreas de Preservação Permanente, protegidos pelo Código Florestal, lei de nº 12.651/12 (BRASIL, 2012), os manguezais também pertencem a uma Unidade de Conservação de Uso Sustentável, denominada Área de Proteção Ambiental do Litoral Sul, fatores que em teoria garantiriam total proteção do referido ecossistema.

Entretanto, os remanescentes de mangues do complexo estuarino compõem mais uma das áreas da região nordeste do país, submetida aos avanços do crescimento econômico, da exploração imobiliária e da conversão de áreas de manguezal em ambientes de carcinicultura. Processos fortalecidos a partir do ano de 1985 em meio à expansão acelerada e que colocam em risco a existência do ecossistema que vive sob a ameaça de desaparecimento no estado (SANTOS, 2008).

Nesse contexto, a construção desta tese partiu do pressuposto da existência de variáveis climáticas e de nível relativo do mar que interferem diretamente na configuração distributiva potencial dos mangues em períodos distintos, em macroescala. Tais variáveis, quando aliadas às variações do sedimento, da água e de tensores antropogênicos, em microescala, revelam em conjunto, padrões de alterações morfoanatômicas nas folhas de mangues, que dependem das pressões a que estão submetidas e são capazes de identificar padrões foliares de mangues em ambientes distintos.

Logo, o empirismo da pesquisa foi construído a partir da necessidade de investigar as respostas dos mangues às variações ambientais tanto em macroescala, como em microescala. Nessa perspectiva, foi utilizada a ferramenta de modelagem de distribuição de espécies, *Species Distributions Modelling* (SDM), de máxima entropia, (MAXENT), com o propósito de prever a distribuição potencial dos mangues do litoral das regiões norte e nordeste do Brasil, e as ferramentas de análise da morfometria geométrica para avaliação dos padrões morfoanatômicos das folhas de mangues do complexo estuarino Real-Piauí-Fundo.

Diante dos argumentos apresentados, foram construídos os questionamentos:

a) De que maneira as mudanças climáticas e de nível relativo do mar interferem na dinâmica distributiva das espécies de flora nativa de manguezais do norte-nordeste brasileiro, considerando a escala temporal: passado (6.000 A.P), presente (2015) e futuro (2050)?

b) Ocorre variação de forma e tamanho das folhas dos mangues ao longo do complexo estuarino Real-Piauí-Fundo em função da diferenciada zonação?

c) A plasticidade fenotípica das folhas das espécies de mangues está relacionada aos componentes do sedimento, à salinidade da água e ao clima, típicos do complexo estuarino?

d) Em que medida de vulnerabilidade os tensores antropogênicos do complexo estuarino Real-Piauí-Fundo interferem na flora do manguezal pesquisado?

e) Existe relação entre a atuação de tensores antropogênicos e respostas plásticas da forma e tamanho das folhas de mangue?

Com o propósito de averiguar os questionamentos formulados, o objetivo geral desta tese constituiu em: investigar a atuação do clima e do nível relativo do mar sobre a distribuição potencial de *Avicennia* L., *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn.f. e *Rhizophora mangle* L., no litoral das regiões norte e nordeste do Brasil, na escala temporal 6.000 A.P., 2015 e 2050, bem como a plasticidade fenotípica das folhas dos mangues do complexo estuarino Real-Piauí-Fundo, decorrentes de fatores abióticos e antropogênicos que afetam as populações florísticas no litoral sul de Sergipe, Brasil.

Para desdobramento do objetivo geral, a tese foi estruturada em cinco capítulos, além desta introdução e das conclusões e sugestões. O primeiro capítulo tratou do universo da pesquisa e abordou os principais aspectos ambientais que individualizam o sul sergipano, com destaque para a caracterização do complexo estuarino Real-Piauí-Fundo e das localidades amostrais onde são encontrados os mangues pesquisados *A. schaueriana*, *L. racemosa* e *R. mangle*, os quais são descritos taxonomicamente. O capítulo também retratou o método utilizado e descreveu a relação existente entre os propósitos da tese e a Teoria Geral dos Sistemas, fio condutor teórico para construção da pesquisa.

O segundo capítulo trouxe os principais aspectos teóricos relativos aos manguezais, abordou o significado da palavra, descreveu a distribuição dos mangues no mundo, inclusive no Brasil e discorreu sobre a diversidade plástica do sistema

ambiental. Ao explicar sobre a diversidade funcional do manguezal, o capítulo revelou situações recentes acerca da exploração do ecossistema e da preocupação quanto ao futuro dessas áreas. Nesse seguimento, foram apresentados os principais meios legais que resguardam o manguezal brasileiro, com ênfase para o cenário de proteção atual do ecossistema em Sergipe, nos termos da lei.

Os capítulos três, quatro e cinco, foram escritos no formato de artigo científico e abordaram os resultados da pesquisa, construídos a partir dos objetivos específicos, a saber: analisar a influência de requerimentos climáticos e de influência no nível relativo do mar, na distribuição potencial dos mangues do litoral norte e nordeste brasileiro, comparando as projeções de 6.000 anos A.P., nos anos de 2015 e 2050, a partir da modelagem de distribuição de espécies; verificar a ocorrência de variações de forma e tamanho das folhas das populações de mangues nos estuários inferior, médio e superior do complexo estuarino Real-Piauí-Fundo, no litoral sul de Sergipe, a fim de examinar a plasticidade fenotípica das folhas e de que maneira os padrões de variação estão relacionados aos fatores sedimentológicos, climáticos e de salinidade da água; e avaliar a vulnerabilidade dos mangues *Avicennia schaueriana*, *Rhizophora mangle* e *Laguncularia racemosa* em um complexo estuarino, Real-Piauí-Fundo, Sergipe, em meio aos tensores antropogênicos atuantes e a possível relação destes com a plasticidade fenotípica das plantas, a partir da morfometria geométrica foliar.

O capítulo três surgiu da ideia de que a análise da distribuição potencial de áreas de mangues, em macroescala, representa um pré-requisito para gestão e conservação do manguezal em tempos atuais. Através da modelagem preditiva, os cenários do passado, presente e futuro foram comparados, a partir das variações dos parâmetros climáticos e do nível relativo do mar, estudando-se a provável dinâmica de expansão e subtração das espécies. Por conseguinte, foi possível, por meio de previsões, entender como os parâmetros abióticos considerados comportaram-se e podem auxiliar em propostas exploratórias de conservação dos mangues.

No capítulo quatro, foi ressaltado que o complexo estuarino Real-Piauí-Fundo compõe mais uma das localidades sergipanas em processo de degradação. Porém, ainda é reconhecido pela presença dos bosques de mangues mais conservados do estado e por isso merece atenção.

Apesar disso, o que se sabe cientificamente sobre a flora dos manguezais de Sergipe, como um todo, ainda é limitado. Além do levantamento da flora e

caracterização dos bosques de mangues do estado, realizado pela ADEMA (SERGIPE, 1984), nenhuma outra investigação foi tão profunda para explorar as respostas dos mangues às variações ambientais. A maior parte dos trabalhos de vegetação ainda se restringe ao estudo da florística e fitossociologia dos bosques ou à análise da flora a partir de ferramentas de sensoriamento remoto, como é o caso dos trabalhos de Kilca et al. (2010) e Correa et al. (2013), respectivamente.

Logo, este capítulo compôs o primeiro trabalho científico que investigou a plasticidade fenotípica em mangues de um complexo estuarino, a partir do uso de técnicas de morfometria geométrica, com a finalidade de averiguar e comparar padrões de variações das folhas dos mangues, relacionados aos fatores abióticos.

O capítulo cinco pode ser reconhecido como a peça chave que faltava para demonstrar que a plasticidade fenotípica dos mangues também é decorrente das pressões antropogênicas, as quais estão submetidos. Esta seção mostrou que as ações antrópicas, ao serem observadas em conjunto, são responsáveis por níveis de vulnerabilidade distintos dentro do complexo estuarino.

Portanto, neste artigo, foram observadas que novas atitudes precisam ser tomadas pelas populações humanas, com a importante inclusão do poder público, a fim de garantir a existência dos mangues.

Nas considerações finais, foi feito o resgate das questões de pesquisa, bem como das discussões em torno do cenário atual da distribuição dos mangues e da preocupação com a degradação dos manguezais. Esta parte ressaltou a importância de investigações que tratem da identidade dos mangues, a partir de pesquisas no âmbito de variações decorrentes de pressões ambientais diversas. Apontou tanto a necessidade de efetivação de práticas conservacionistas, começando pela garantia da prática da lei criada para Áreas de Preservação Permanente (APPs) e Unidades de Conservação, como a relevância da criação de políticas públicas voltadas para a participação comunitária nos processos de conservação dos manguezais do litoral sul sergipano. Além disso, apontou metodologias elementares no âmbito de pesquisas de monitoramento e conservação dos mangues.

REFERÊNCIAS

- BRASIL (País). Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Avaliação e Identificação de Áreas e Ações Prioritárias para a Conservação, Utilização Sustentável e Repartição dos Benefícios da Biodiversidade nos Biomas Brasileiros**. Brasília, 2002.
- BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 25 maio. 2012. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm. Acesso em: 05 de jan de 2013.
- CARVALHO, M.S.; FONTES, A.L. Estudo ambiental da Zona Costeira Sergipana como subsídio ao Ordenamento Territorial. v. 1. p. 10-40. **Geonordeste**. 2006.
- CORREA, M. et al. Utilização do geoprocessamento no licenciamento ambiental, para mapeamento, quantificação e monitoramento de manguezais. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. **Anais ...** Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 2013.
- CHAPIN F.S. Effects of plant traits on ecosystem and regional processes: a conceptual framework for predicting the consequences of global change. **Ann. Bot.** v.91. p. 455–63. 2003.
- DUKE, N. C.; MEYNECKE, J. O.; DITTMANN, S. et al. A World Without Mangroves **Science**. v. 317 n°, 5834. p. 41-42, 2007.
- KILCA, R. V. et al. Estrutura de Manguezais em diferentes estágios sucessionais no estuário do Rio Piauí, Sergipe-Brasil. **Pesquisas, Botânica**. nº 61: 171-189. São Leopoldo: Instituto Anchietano de Pesquisas. 2010.
- KRAUSS, K.W, ALLEN, J.A, CAHOON, D.R. Differential rates of vertical accretion and elevation change among aerial root types in Micronesian mangrove forests. **Estuar. Coast. Shelf Sci.** v.56, n.2, p. 51–59, 2003.
- POLIDORO, B. A.; CARPENTER, K. E.; COLLINS, L. et al. The Loss of Species: Mangrove Extinction Risk and Geographic Areas of Global Concern. **PLoS ONE**.v. 5 (4). 2010.
- ROBERTSON, A. I, ALONGI, D. M. Tropical Mangrove Ecosystems. **Coastal and Estuarine Studies**, v. 41. Washington, DC: Am. Geophys. Union ed. 1992.
- SANTOS, M. M.; SCHAEFFER-NOVELLI, Y. Levantamento da Flora e caracterização dos bosques de mangue do estado de Sergipe. In: III Encontro Brasileiro de Gerenciamento Costeiro. **Anais...** Fortaleza, 1989.
- SANTOS, M.M. **A produção do espaço pela carcinicultura no litoral sul de Sergipe: potencialidades, restrições e impactos ambientais**. Tese (Doutorado em Geografia). Núcleo de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão, Sergipe. 2008.
- SERGIPE (Estado). Administração Estadual do Meio Ambiente (ADEMA). **Levantamento da flora e caracterização dos bosques de mangue do Estado de Sergipe**. Sergipe, 1984.

SOUZA, M. F. L. de. COUTO, E. C. G. Caracterização Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Piauí (SE). In: SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. **Conceitos de Bacias Hidrográficas**. Ilheus, Bahia: Editus, 2002.

United Nations Environment Programme – UNEP. Destruction of Carbon-Rich Mangroves Costs up to US\$42 billion in Economic Damages Annually. In: **The Importance of Mangroves to people a call to action**. 2014. Disponível em: <<http://www.unep.org/newscentre/default.aspx?DocumentID=2796&ArticleID=11005#sthash.emJ9s9Tw.dpuf>>. Acesso em 20 de set. de 2015.

CAPÍTULO 1

CONSTRUÇÃO DA PESQUISA

1 CONSTRUÇÃO DA PESQUISA

1.1 O universo da pesquisa: o litoral sul sergipano

O litoral sergipano possui 163 quilômetros (Km) de extensão, 5.514,7 Km² de superfície de ocupação e abriga 23 municípios litorâneos (SANTOS; VILAR, 2012). O Programa de Gerenciamento Costeiro (GERCO) de Sergipe, afirmou que o litoral do estado divide-se em norte, centro e sul. Este último é composto por cinco municípios: São Cristóvão, Itaporanga D'Ajuda, Estância, Santa Luzia do Itanhy e Indiaroba (VILAR; ARAÚJO, 2010), perfazendo 2.480 Km² de área total (SANTOS, VILAR, 2012; SANTOS, VILAR, 2013).

Nas análises de Vilar e Araújo (2010) é possível observar certa homogeneidade de natureza ambiental, social, fundiária e econômica, que permite a organização de dois grupos: o primeiro, São Cristóvão e Itaporanga D'Ajuda, e o segundo, Estância, Santa Luzia do Itanhy e Indiaroba. Apesar de todo o litoral sul sofrer a influência da capital sergipana, no que se refere à concentração de equipamentos, infraestrutura, contingente demográfico e de volume de circulação de natureza diversa, o primeiro grupo, por estar localizado mais próximo de Aracaju, sofre maior influência dos aspectos mencionados.

O litoral sul é marcado pela presença de planícies e tabuleiros costeiros, além da elevada densidade hidrográfica que favorece a abundância do setor pesqueiro (SANTOS, VILAR, 2012).

Ao longo do litoral podem ser observados diferentes ecossistemas: dunas, restinga, manguezal, bem como outras fitofisionomias típicas do bioma Mata Atlântica. Estes sistemas ambientais são considerados ambientalmente frágeis. Para Fierz (2008), a fragilidade do ambiente refere-se à tendência de modificação da paisagem que se encontra em equilíbrio. Dessa forma, alterações no relevo, solo, clima e recursos hídricos podem afetar seriamente a funcionalidade dos sistemas ambientais (SPÖRL; ROSS, 2004).

Em termos meteorológicos, Sergipe está sob os efeitos da circulação atmosférica do Anticiclone Tropical do Atlântico Sul, da Frente Polar Atlântica e das

Ondas de Leste (E.W.), fatores responsáveis pelo tempo instável e chuvoso típico do outono-inverno e pelo tempo seco e estável da primavera-verão, o que denomina o regime mediterrâneo (SANTOS, 2008).

O sul sergipano apresenta clima quente e sub-úmido e corresponde à região do estado que apresenta a maior pluviosidade. O litoral sul possui o clima do tipo megatérmico úmido e sub-úmido com chuvas no outono e inverno e período de estiagem na primavera e verão. As chuvas iniciam-se no mês de março e prologam-se com intensidade de maio a agosto (SANTOS, 2008).

O solo caracterizado como halomórfico é desenvolvido a partir dos sedimentos marinhos e fluviais, contenedores de matéria orgânica e que ocorrem mediante a topografia plana da faixa costeira e a constante influência marinha (EMBRAPA, 2013). A localização dos manguezais em ambientes de baixa energia favorece a predominância das frações mais finas (argila e silte), com consideráveis quantidades de matéria orgânica e de sais solúveis em virtude da transição com o mar. A saturação da água e a decomposição da serapilheira são refletidas na cor acinzentada-preta dos solos, que têm presença de sulfeto de hidrogênio (H_2S), são fracamente consolidados e podem ser profundos (CINTRÓN; SCHAEFFER-NOVELLI, 1983).

Os municípios a serem investigados são pertencentes à Planície Costeira ou Planície Litorânea e às Formações Terciárias, que constituem o segundo compartimento de relevo presente no litoral sul, com representação considerável nos municípios pesquisados, onde os tabuleiros permitem a formação da Mata Atlântica. A Planície Costeira é uma unidade geoambiental em que formas depositadas estão sob as influências das diversas condições ambientais que prevalecem no período do Quaternário. Há cerca de 120.000 A.P., a planície onde se encontra o litoral sul foi alvo dos processos de transgressão e regressão das águas marinhas (SANTOS, 2008).

Ainda de acordo com a autora, no período de transgressão, o avanço do mar provocou a formação dos estuários por meio do afogamento do baixo curso dos rios, em especial os rios Vaza-Barris e Piauí-Real. Com o retorno das águas marinhas, formaram-se os terraços marinhos, que tiveram início junto à formação Barreiras.

Sobre a planície flúvio-marinha é possível identificar os manguezais do litoral sul ou as regiões de apicum. Essa unidade geomorfológica apresenta-se como terrenos que são invadidos pelas águas do mar na maré alta e drenados quando ela está baixa. O

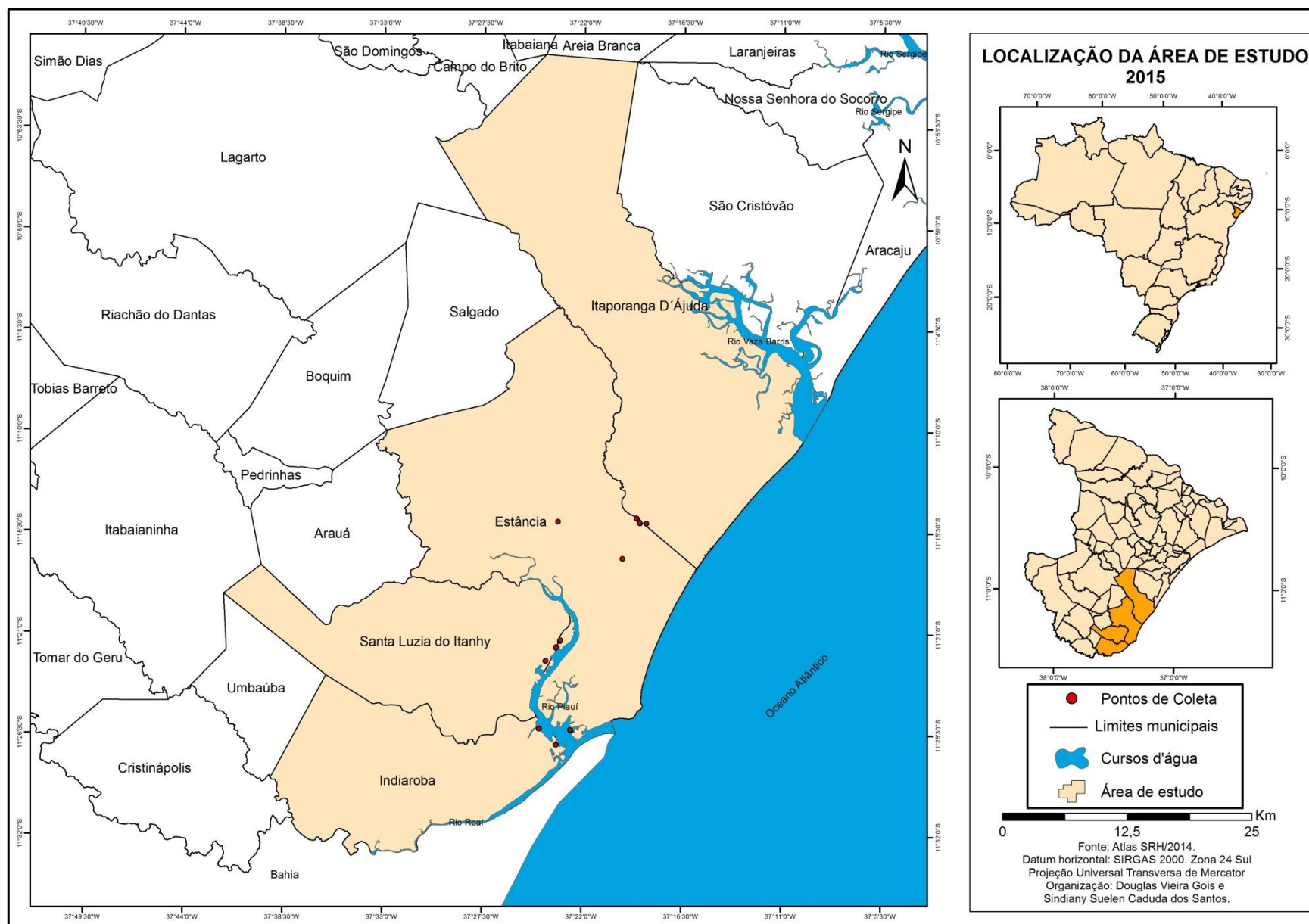
fenômeno ocorre em Sergipe duas vezes ao dia em virtude do regime de marés semi-diurnas (Ibid, p. 105).

1.2 Área de investigação da pesquisa

As áreas de investigação dos mangues, *Avicennia schaueriana*, *Laguncularia racemosa* e *Rhizophora mangle*, dispostas na figura e no quadro 1.1, corresponderam aos três sítios encontrados ao longo do complexo estuarino Real-Piauí-Fundo, denominados: estuário inferior, estuário médio e estuário superior. Para Duke (1990), a área de ocorrência dos mangues situados mais distantes da foz do rio é chamada de estuário superior, a região mais intermediária em relação à foz é denominada estuário médio e a região mais próxima da foz chama-se estuário inferior.

Saliente-se que os estuários dos rios, Real, Piauí e Fundo podem ser analisados em conjunto, já que são geograficamente próximos, estão interligados, têm características ambientais semelhantes e são os estuários mais ricos em termos de manguezais e produção de peixes e crustáceos de Sergipe (CARVALHO; FONTES, 2006).

Figura 1.1 Localização e pontos de coleta nas áreas de manguezal investigadas: estuários inferior, médio e superior.



Quadro 1.1: Pontos de coleta das amostras de folhas das espécies *Avicennia schaueriana*, *Laguncularia racemosa*, *Rhizophora mangle* nos estuários inferior, médio e superior do complexo estuarino Real-Piauí-Fundo, Sergipe.

Espécie/Estuário	Localidade	Localização	
		Latitude	Longitude
AI	Estância	-37.37672	-11.43844
LI	Indiaroba	-37.40571	-11.43682
RI	Indiaroba	-37.39024	-11.45098
AM	Estância	-37.38706	-11.35723
LM	Santa Luzia do Itanhy	-37.39059	-11.36273
RM	Santa Luzia do Itanhy	-37.40051	-11.37548
AS	Estância	-37.33028	-11.28245
LS	Itaporanga D'Ajuda	-37.31709	-11.24596
RS	Estância	-37.31424	-11.2502


Avicennia schaueriana nos estuário inferior (AI), médio (AM) e superior (AS). *Laguncularia racemosa* nos estuários inferior (LI), médio (LM) e superior (LS). *Rhizophora mangle* nos estuários inferior (RI), médio (RM) e superior (RS).




Fonte: Elaborado por Sindiany Santos (2015), a partir das investigações de campo.

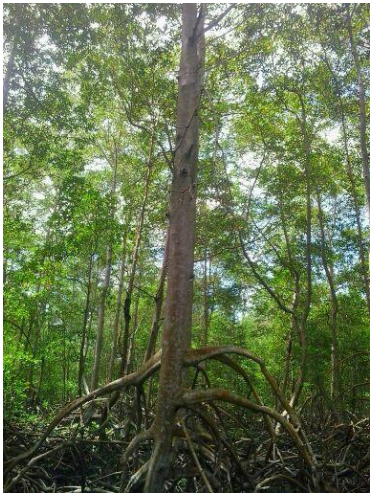

1.3 Descrição das espécies de mangues: *A. schaueriana*, *L. racemosa* e *R. mangle*

As espécies investigadas possuem características particulares que permitem a sobrevivência em ambientes de manguezal. O quadro 1.2 abaixo apresenta as principais características dos mangues investigados.

Quadro 1.2: Descrição das espécies dos mangues *Avicennia schaueriana*, *Laguncularia racemosa* e *Rhizophora mangle*.

Família	Características fitogeográficas		
	Hábito	Descrição	Imagens das espécies registradas em campo
<p>.Acanthaceae</p> <p><i>Avicennia schaueriana</i> Stapf. & Leech</p> <p><i>Avicennia germinans</i> L.</p>	Espécie arbórea	<p><i>Avicennia</i> L. é um gênero pantropical que possui cerca de 8 espécies, ocupando diversos habitats de manguezal. Contudo, em Sergipe, são descritas espécies <i>Avicennia germinans</i> e <i>Avicennia schaueriana</i>, conhecidas popularmente como mangue-preto. É um gênero uniforme em sua morfologia e anatomia que tem tolerância aos ambientes hipersalinos. Apesar disso, no campo é possível ver caracteres diferentes, que raramente são descritos nas exsicatas dos herbários (TOMLINSON, 1986).</p> <p>Quanto às raízes respiratórias e aéreas, o gênero possui formações especializadas. Correspondem às ramificações geotrópico-negativas das raízes subterrâneas, que crescem perpendicularmente ao solo e emergem deste, atingindo cerca de 30 ou 40 centímetros de altura, em relação ao nível do solo. Essas raízes eretas são conhecidas como pneumatóforos e são caracterizadas pelo sistema intercelular bem desenvolvido e possuidor de cavidades cheias de ar. A superfície dos pneumatóforos é coberta por orifícios, as lenticelas, que têm por função acumular o oxigênio necessário e que será transportado para o restante do sistema radicular que se encontra no solo anaeróbico (Ibid).</p> <p>As folhas apresentam seu ápice que cresce dentro do sulco peciolar. O pecíolo curto de 1 a 3 centímetros, parte de um sulco basal profundo e percorre a linha através do nó. A lâmina foliar é carnuda e possui veias discretas, a nervura central é proeminente mais próximo da parte basal. O tamanho da lâmina foliar varia de acordo com a espécie, que pode apresentar folha ovada ou estreitamente elíptica ou lanceolada. Ápice arredondado, base aguda e toda margem é grossa. Na família Avicenniaceae a diversidade plástica das folhas é um fator relevante para identificação das espécies do gênero, pois, a forma da folha é capaz de distinguir as espécies do gênero (Ibid).</p>	

Família	Características fitogeográficas		
	Hábito	Descrição	Imagens das espécies registradas em campo
Combretaceae <i>Laguncularia racemosa</i> (L.) Gaertn.f.	Espécie arbórea	<p>A <i>Laguncularia racemosa</i>, conhecida como mangue-branco, é uma espécie típica da área de franja do manguezal, mas também pioneira em locais perturbados. São árvores hermafroditas, com tronco solitário ou agrupado. Possui casca áspera, fissurada e cinza. O crescimento do rebento contínuo ou irregular tem ramificação difusa e os galhos possuem lenticelas ligeiramente proeminentes (TOMLINSON, 1986).</p> <p>Quanto às raízes respiratórias e aéreas, a espécie também é caracterizada pela presença de pneumatóforos, assim como o gênero <i>Avicennia</i>. A diferença reside no tamanho das ramificações geotrópico-negativas das raízes, que são pequenas em relação ao tamanho dos pneumatóforos da <i>Avicennia</i> sp. (NASCIMENTO, 2008).</p> <p>Todavia, os pneumatóforos podem ou não ser desenvolvidos pela espécie. Assim, em algumas situações eles são abundantemente desenvolvidos, em outras situações eles podem estar ausentes. Porém, o estímulo para o desenvolvimento dos pneumatóforos é desconhecido (TOMLINSON, 1986).</p> <p>Possui folhas carnudas e um par de glândulas conspicuas na parte adaxial distal do pecíolo. O pecíolo é pequeno, em torno de 1 a 2 centímetros, e suporta duas glândulas circulares na superfície adaxial, em direção à lâmina. A lâmina foliar varia de elíptica a oblongo, margem inteira e ligeiramente emarginada no ápice; base truncada. Além disso, possui três tipos de estruturas secretoras, que funcionam como um nectário extrafloral (Ibid).</p>	  

Família	Características fitogeográficas		
	Hábito	Descrição	Imagens das espécies registradas em campo
<p>Rhizophoraceae</p> <p><i>Rhizophora mangle</i> L.</p>		<p>A espécie <i>Rhizophora mangle</i>, também chamada de mangue vermelho, é uma árvore perene, cujo habitat está limitado a zona entre marés e lagoas costeiras. As raízes escoras ou rizóforos são encontradas no mangue vermelho. Elas originam-se no caule principal e tornam-se de 3 metros de altura do solo. Elas formam arcos até o chão, permitindo a sustentação da planta no sedimento instável, na maioria das vezes, e lodoso. As raízes não penetram com profundidade no solo, o que implica na necessidade de um sistema de sustentação que garanta a estabilidade das árvores. É por esta razão que árvores precisam viver em distribuição espacial agregada, com galhos e raízes apoiando-se entre elas. Se isoladas, as árvores não conseguem se estabelecer em meio aos ventos e à dinâmica das marés. Ademais, são nos rizóforos que são encontradas as lenticelas, que possuem a função de troca gasosa entre a planta e o ambiente (TOMLINSON, 1986).</p> <p>A <i>Rhizophora mangle</i> distingue-se das outras espécies do gênero por suas folhas pequenas, com lâmina entre 10 a 12 por 5 centímetros. O pecíolo possui cerca de 2 centímetros de comprimento, apresenta coloração pálida e estende-se para a nervura central, que é verde-pálida e praticamente de cor branca na região próxima do pecíolo (Ibid).</p>	 

Fonte: Elaborado por Sindiany Santos (2014). Fotos da autora (2014).

1.4 Método de pesquisa

Os manguezais são reconhecidos como relevantes sistemas vivos onde há contínuo fluxo de energia que entra e sai em meio à dinâmica das marés. Deste modo, é possível pensar neste ecossistema, a luz da Teoria Geral dos Sistemas de Bertalanffy (2015), do ponto de vista de um sistema aberto que mantém tanto a conservação própria, diante da decomposição de componentes que se relacionam, como a essência de vida singular a partir do equilíbrio metabólico dos elementos que o compõe.

Ao analisar o manguezal como sistema é possível observar que o berçário da biodiversidade aquática depende da flora típica conhecida como mangue para sobreviver; e a colonização e desenvolvimento das árvores, por sua vez, dependem de uma série de parâmetros ecológicos para existirem, a saber: temperatura média anual em torno de 24,5°C a 26,5°C; precipitação média anual entre 1.700 e 2.000 milímetros (mm); umidade relativa média anual de 80% a 85%; velocidade do vento média anual que varie entre 1,4 a 4,1 metros por segundo (m/s); radiação solar incidente entre 107 a 724 calorias por dia (cal/dia); solos argilosos, pH de 4,8 a 8,8; e amplitude de maré de 20 a 200 centímetros (cm) (SERGIPE, 1984; NASCIMENTO, 2008). Estes fatores também dependem de características geomorfológicas e antropogênicas locais, o que faz com que cada região expresse condições particulares e tenha identidade própria. Ou seja, são estes componentes em interação que proporcionam a existência do manguezal. Entretanto, se um dos fatores ambientais entra em desequilíbrio, todo o ecossistema fica comprometido e Bertalanffy (2015) reforça que a mudança nas interconexões implica em transformações significativas no sistema. Assim, se as condições climáticas, de nível relativo do mar, da salinidade da água e do solo deixam de ser favoráveis à existência dos mangues, podem até formarem-se outros tipos de vegetação que sobreviva às condições ambientais impostas, porém, não se terão manguezais.

À vista disso, a natureza do objeto de pesquisa, que diz respeito à análise do comportamento distributivo dos mangues e da plasticidade fenotípica foliar das plantas do manguezal em um complexo estuarino, derivou do método dedutivo. Este método parte do caso geral e motivador da construção do problema de pesquisa para conclusões específicas, preocupando-se em olhar para o manguezal a partir da visão sistêmica.

Nesse sentido, o trabalho científico foi construído com base na busca por respostas acerca da atuação dos componentes abióticos que têm afetado a distribuição dos mangues no litoral norte e nordeste do Brasil, em macroescala, em períodos distintos (6.000 A.P, 2015 e 2050), e que tratam da influência dos fatores abióticos sobre os padrões de variação, por meio das análises morfométricas das folhas de mangues, em microescala, no complexo estuarino Real-Piauí-Fundo.

Na visão sistêmica a preocupação não gira em torno de saber as causas do problema, mas sim, em identificar os *driving factors*, os fatores que agem como desencadeadores. Desse modo, foi possível pensar em como os fatores de clima e de nível relativo do mar agem como detonadores tanto da distribuição dos mangues em escala temporal do passado, presente e futuro, bem como da plasticidade fenotípica, a qual, também decorre de outros fatores ambientais, sejam naturais ou antrópicos, e expressa respostas que podem ser observadas por meio do estudo morfoanatômico das folhas (BERTALANFFY, 1973, 2015; HERCULANO, 2015).

Por esse ângulo, os *driving factors* foram investigados mediante a aplicabilidade das ferramentas para conservação da biodiversidade: modelagem de distribuição potencial e morfometria geométrica.

A tarefa metodológica da modelagem de distribuição potencial consistiu em utilizar dados de presença dos mangues e encontrar regiões com valores das variáveis ambientais utilizadas como entrada, semelhantes àqueles dos pontos de ocorrência fornecidos, como propõe a metodologia de Franklin e Miller (2009). Nesse caso, a obtenção dos valores de latitude e longitude foi relevante para o processo da modelagem, os quais foram coletados especialmente no banco de dados da plataforma eletrônica *Specieslink*, contemplando áreas de ocorrência dos mangues nas regiões norte e nordeste do Brasil.

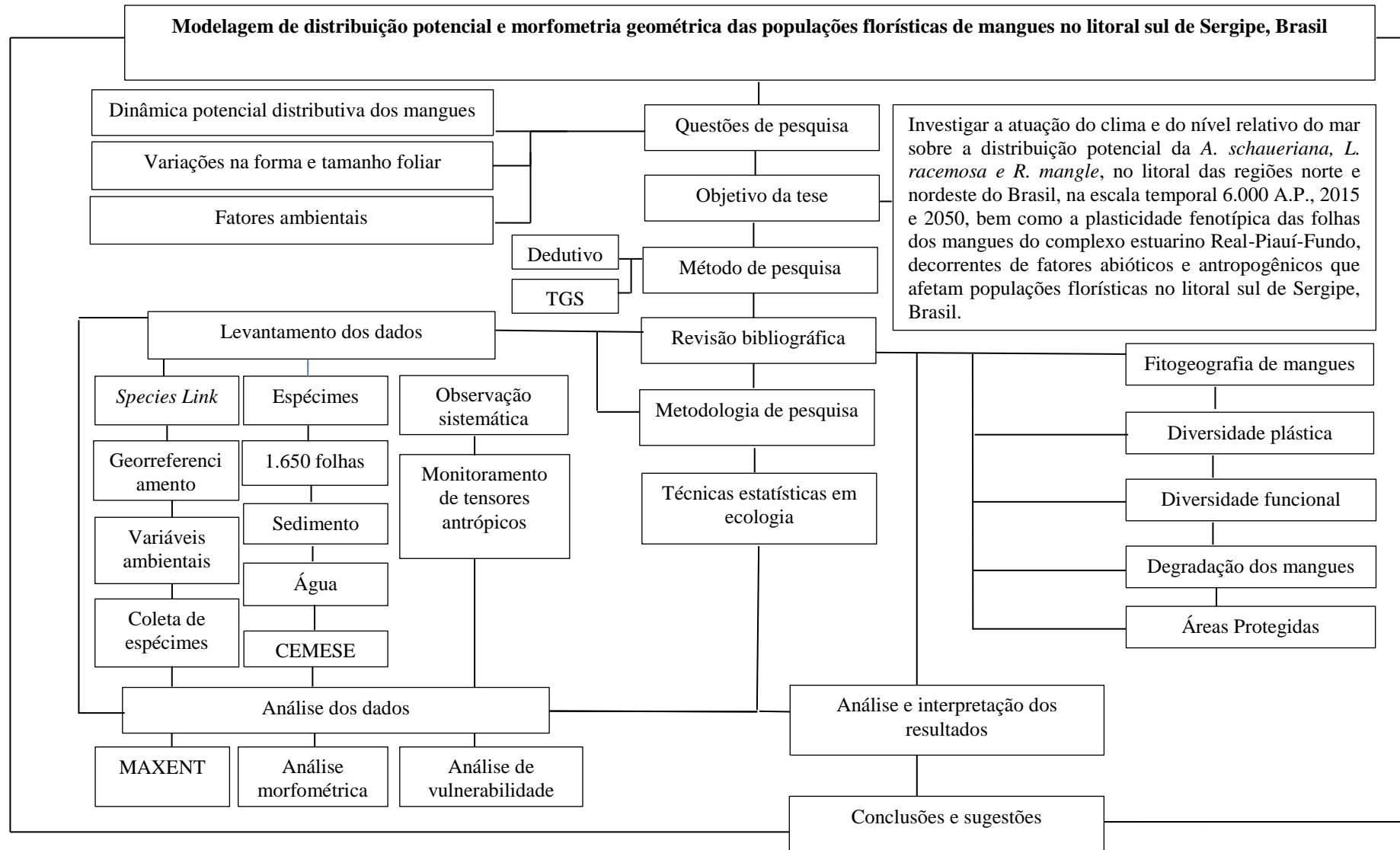
Por outro lado, o uso da técnica de morfometria geométrica possibilitou medir a variação da população do complexo estuarino Real-Piauí-Fundo, por intermédio do tamanho e da forma das folhas. As análises utilizaram coordenadas cartesianas dos marcos anatômicos (*landmarks*). Por este caminho, foram verificadas as diferenças existentes entre os grupos de teste, por análises multivariadas, e entre a forma e o tamanho das folhas, visualizados em diagramas (VISCOSI; CARDINI, 2011). A morfometria geométrica constituiu um dos métodos efetivos para descrição da variação e diferenciação morfoanatômica foliar (JENSEN et al., 2002). Além disso, os estudos

morfométricos permitiram a exploração de análises da relação entre fatores abióticos e antropogênicos como desencadeadores das mudanças na morfologia das folhas dos mangues.

A partir dos *driving factors* apresentados foi possível identificar pontos que alavancaram respostas necessárias no âmbito do estabelecimento de estratégias de conservação dos manguezais, os chamados *leverage points*, como foram denominados por Bertalanffy (1973, 2015) e Herculano (2015). Eles foram apresentados ao longo de cada artigo científico e são retomados e reforçados nas conclusões e sugestões desta pesquisa.

Nesse contexto, o fluxograma apresentado na figura 1.2 revela a síntese da construção metodológica da tese.

Figura 1.2: Fluxograma dos procedimentos metodológicos.



Fonte: Elaborado pela autora (2015 e 2016).

Isto posto, tornou-se necessário apresentar no próximo capítulo as bases teóricas que descrevem e argumentam sobre a relevância dos manguezais, especialmente da flora do ecossistema. Para tanto, fez-se relevante compreender como os mangues distribuíram-se em ambientes complexos e heterogêneos e de que maneira a diversidade plástica e funcional foram efetivamente importantes para a existência das florestas. Ademais, entender de que maneira os sistemas de proteção dos manguezais atuam no Brasil foi requisito básico para propor mudanças no âmbito da conservação do ecossistema.

REFERÊNCIAS

- BERTALANFFY, L VON. **Teoria Geral dos Sistemas: fundamentos, desenvolvimento e aplicações**. Tradução de Francisco M. Guimarães. ed 8. Petrópolis, Rj: Vozes, 2015.
- BERTALANFFY, L. V. **Teoria Geral dos Sistemas**. Petrópolis: editora Vozes, 1973.
- CARVALHO, M.S.; FONTES, A.L. Estudo ambiental da Zona Costeira Sergipana como subsídio ao Ordenamento Territorial. v. 1. p. 10-40. **Geonordeste**. 2006.
- CITRÓN, G; SCHAEFFER-NOVELLI, Y. **Introducción a la ecología del manglar**. San Juan, Rostlac. 109p. 1983.
- DUKE, N.C. Phenological trends with latitude in the mangrove tree *Avicennia marina*. J. **Ecol**. 78:113–133.1990.
- EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353p.
- FIERZ, M, DE S, M. **As abordagens sistêmica e do equilíbrio dinâmico na análise da fragilidade ambiental do litoral do estado de São Paulo: contribuição à geomorfologia das planícies costeiras**. Tese (Doutorado em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, do departamento de geografia da faculdade de filosofia, letras e ciências humanas da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2008.
- FRANKLIN J.; MILLER, J. A. **Mapping Species Disbriuitions**. Cambridge University Press, 2009.
- JENSEN, R.J.; CIOFANI, K.M; MIRAMONTES, L.C. Lines, outlines, and landmarks: morphometric analyses of leaves of *Acer rubrum*, *Acer saccharinum* (Aceraceae) and their hybrid. **Taxon**. v. 51, p. 475–492, 2002.
- HERCULANO, S. Aspectos Metodológicos e Epistemológicos para a Construção de Pesquisa Socioambiental. In:MELO E SOUZA, R.; SANTOS, S. S. C. dos; SANTOS, E. A. (org.) **Vivências e práticas socioambientais: metodologias aplicadas em comunidades**. São Cristóvão, SE: GEOPLAN/CNPQ/ UFS, 2015.
- NASCIMENTO, S. **Ecofisiologia do manguezal**. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos. Aracaju, Sergipe: Degrase, 2008.
- SANTOS, C. N. C. DOS; VILAR, J. W. C. O Litoral Sul de Sergipe: Contribuição Ao Planejamento Ambiental E Territorial. **Revista Geonorte**. Edição Especial, v.3, n.4, p. 1128-1138. 2012.
- SANTOS, M.M. **A produção do espaço pela carcinicultura no litoral sul de Sergipe: potencialidades, restrições e impactos ambientais**. Tese (Doutorado em Geografia). Núcleo de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão, Sergipe. 2008.
- SANTOS, P. P.; VILAR, J. W. C Território e conflitos ambientais do turismo de segunda residência na APA litoral Sul (SE). **Ateliê Geográfico** - Goiânia-GO. v. 7, n. 2, p.44-70. Ago, 2013
- SERGIPE (Estado). Administração Estadual do Meio Ambiente (ADEMA). **Levantamento da flora e caracterização dos bosques de mangue do Estado de Sergipe**. Sergipe, 1984.

SPÖRL, C; ROSS, J. L. S. Análise comparativa da fragilidade ambiental com Aplicação de três modelos. **GEOUSP - Espaço e Tempo**, São Paulo, n 15, p.39-49, 2004.

TOMLINSON, P. B. **The Botany of Mangroves**. New York: Cambridge University Press, 1986.

VILAR, J. W. C.; ARAÚJO, H. M. de. Iniciativas de Ordenamento Territorial no litoral sul sergipano. In: VILAR, J. W. C.; ARAÚJO, H. M (Org). **Território, meio ambiente e turismo no litoral sergipano**. São Cristóvão: Editora UFS, 2010.

VISCOSI, V.; CARDINI, A. Leaf Morphology, Taxonomy and Geometric Morphometrics: A Simplified Protocol for Beginners. **PLoS ONE**. v. 6. n.10. 2011.

CAPÍTULO 2

A FLORESTA DE MANGUES: DO VELHO PARA O NOVO MUNDO

2 A FLORESTA DE MANGUES: DO VELHO PARA O NOVO MUNDO

Em inglês, a palavra *mangrove* pode designar floresta, árvores e arbustos. *Mangrove* é derivada da palavra *mangue* ou do espanhol *manglar*, relacionada à palavra inglesa *grove*, que significa um conjunto de árvores, ou uma floresta pequena. Assim, *mangrove* em inglês significa “uma pequena floresta feita de mangues” (VANNUCCI, 2002).

A origem da palavra manguezal permaneceu obscura até que estudiosos buscassem a sua verdadeira origem. O primeiro uso da palavra que se teve notícia encontra-se na carta de Lopo-Homem-Reineis, datada de 1519. Na carta, ele apresentou a palavra *mamguez* (plural da palavra *mangue*) e indicou uma área do golfo Reyes, conhecida como Angra dos Reis e situada ao oeste e sul do Rio de Janeiro (Ibid).

O uso da palavra teve origem nas viagens feitas por portugueses navegantes no século XV quando estes percorriam países da África e da América. Essas evidências permitiram à Marta Vannucci chegar até o descobrimento do uso da palavra *mangue*. Esta, como escrita em português, teve origem no Senegal e chegou ao conhecimento dos grandes navegadores em virtude dos troncos utilizados para proteção contra ataques de inimigos nativos, eram os chamados “paus de mangue”, como afirmou a autora (Ibid).

Desde a tomada de conhecimento sobre o manguezal, muitos fatos aconteceram nas faixas tropicais e subtropicais onde os mangues ocorrem. Inicialmente o ecossistema era considerado como ambiente de proliferação de doenças e com notória paisagem desfavorável ao embelezamento da natureza. Esta visão limitada foi uma contribuinte secular relevante para os processos de aterramento de manguezais e perda de extensas faixas de florestas de mangues (Ibid).

No século XXI, podem-se observar avanços no âmbito da proteção dos manguezais, a partir do surgimento de bases legais que reconhecem a importância ambiental, social e cultural do ecossistema. Porém, ainda há muito a ser feito para frear a degradação contínua enfrentada.

Cabe, dessa forma, ampliar o leque de conhecimentos acerca da relevância socioambiental que os manguezais apresentam para a natureza e para o homem, de modo a transpor conhecimentos para a sociedade e para o poder público, que têm o papel fundamental de reduzir os malefícios causados pelo próprio homem à natureza e de investir em novas formas sustentáveis de proteção dos manguezais.

2.1 Distribuição dos mangues no mundo

Os manguezais são encontrados em 123 países em todo o mundo e cobrem uma área estimada de 152.000 Km², o equivalente a menos de 1% de toda floresta tropical (UNEP, 2014). As florestas de mangues são taxonomicamente diversas: são setenta espécies subdivididas em vinte e sete gêneros, vinte famílias, e nove ordens, as quais compartilham um conjunto de adaptações convergentes para habitats salinos e anóxicos (TOMLINSON, 1986; DUKE et al., 2007).

A estrutura dos mangues depende das condições ambientais as quais estão expostos. Em ambientes áridos e altamente salinos, como é o caso da região do Mar Vermelho, os mangues restringem-se às franjas estreitas e arbustos atrofiados de até três metros de altura. Por outro lado, quando submetidos às condições abióticas mais favoráveis ao desenvolvimento, como acontece nos estuários tropicais da Indonésia, Nigéria e Brasil, as florestas são densas e de copas que podem alcançar até 30 metros (UNEP, 2014).

O desenvolvimento estrutural dos bosques de mangues apresenta distinções no planeta. Ele depende da resposta da vegetação aos vários fatores que vão atuar de formas diferentes sobre cada ambiente de manguezal: níveis de nutrientes, variação de correntes, quantidade de precipitação, intensidade de evaporação e atuação de diversos tensores, como temperaturas baixas, estiagens, altas salinidades e intervenção antrópica (NASCIMENTO, 2008).

No ano de 1974, Lugo e Snedaker desenvolveram uma classificação dos bosques de mangues de acordo com os tipos fisiográficos. Para cada tipo, foram consideradas condições semelhantes para níveis de intensidade energética, nutrientes e taxa de intercâmbio de gases. No ano de 1980, os bosques de mangues foram reinterpretados por Cintrón et al. (1980) e foram classificados e descritos pelos autores como bosques ribeirinhos, de franja e de bacia:

a) Bosques ribeirinhos – são marcados pelo fluxo intenso da água, que faz com que os bosques não sejam hipersalinos e pela marcante quantidade de nutrientes que fazem destes ambientes, localidades altamente produtivas, com mangues de satisfatório desempenho estrutural, os quais podem alcançar copas de até 40 metros de altura ou mais. Além disso, as salinidades intersticiais são mais baixas que nos demais

tipos de bosques. Também é possível observar que a *R. mangle* desenvolve-se na margem e nas regiões mais internas podem dominar os gêneros *Laguncularia* e *Avicennia*. Na parte mais superior encontram-se indivíduos dos gêneros *Conocarpus* e/ou *Laguncularia*.

b) Bosques de bacia – são característicos de áreas mais internas e por isso a renovação das águas ocorre de modo mais lento, em relação aos outros bosques. O fluxo laminar de água sobre as extensões planas impede a existência de uma zonação determinada, mas geralmente os gêneros *Laguncularia* e *Avicennia* são dominantes. O nível de desenvolvimento dos bosques de bacia depende muito da frequência das inundações e da intensidade da corrente. Dito de outra forma, quanto maior forem as inundações e a intensidade das correntes, melhor será o desenvolvimento dos bosques, os quais podem ser monoespecíficos ou mistos. O gênero *Rhizophora* é recorrente ao longo do canal.

c) Bosques de franja ou Ilhotes – ocorrem ao longo das margens das costas protegidas ou sobre elevações ou projeções da costa. Como estão submetidos à flutuação vertical das marés, são caracterizados pelo recobrimento diário destas. Dessa forma, ocorre inundação na preamar e na baixamar a maré começa a secar. Este fator impede que haja concentração intensa de elementos físicos e químicos. Nos bosques de franja, geralmente monoespecíficos, o gênero *Rhizophora* é dominante na parte externa.

Apesar da tendência de reconhecimento de existência dos bosques dos tipos franja e bacia (SCHAEFFERR-NOVELLI et al., 2000), é importante ressaltar o fato do posicionamento dos bosques de mangues está altamente associado à riqueza de espécies de árvores, arbustos e samambaias do sistema ambiental.

A riqueza florística do manguezal é evidenciada na região oeste indo-pacífica e é maior em relação ao número de espécies encontradas no Atlântico ocidental. Esta diferenciação provocou a execução de diversas pesquisas científicas. Uma das hipóteses explicativas do fenômeno, bem aceita, foi abordada em 1999, por Ellison et al. (1999). Ao fazer uma revisão completa de registros fósseis de mangues, investigar as distribuições correlacionadas de invertebrados associados aos manguezais e analisar estatisticamente os padrões biogeográficos da flora e fauna de manguezais nos continentes, os autores concluíram, entre outras afirmações, que o registro apoiava a hipótese de que os ecossistemas de manguezal tinham se originado no Paleoceno/Eoceno, ao redor do mar de Tétys. Os registros fósseis também suportaram a

hipótese de que todos os gêneros de mangues, com exceção do gênero *Excoecaria*, tinham evoluído antes do fechamento do mar de Tetys, até o final do Terciário. Logo, a criação da barreira geográfica na pós-evolução dos mangues não teria sido a responsável por uma possível não migração e comunicação intercontinental da flora, como afirmou Chapman em 1975. Ou seja, a riqueza pode estar associada à similaridade de áreas e às condições ambientais que essas apresentam para o desenvolvimento e manutenção dos mangues.

Assim, pode-se assegurar que a evolução dos manguezais ocorreu de forma convergente, e, conseqüentemente, a existência desses ambientes foi determinada pela existência de condicionantes ambientais idênticas (RICKLEFS, 2003).

Investigações palinológicas de mangues na região costeira brasileira, relativas ao Holoceno, foram realizadas por Medeiros et al. (2010) e, entre outras respostas relevantes, os autores verificaram que na região sul, a presença de manguezal remonta de cerca de 8.370 A.P., quando era possível encontrar os gêneros *Rhizophora* e *Avicennia*. Entretanto, houve variações da presença de registros polínicos entre o intervalo de 8.370 – 2.000 A.P., provavelmente em decorrência dos fatores climáticos que modificaram a dinâmica de desenvolvimento e expansão dos mangues: transgressão (permitiu a implantação do manguezal) e regressão (favoreceu a transferência do manguezal de local). As variações provocam uma reorganização constante no espaço desses ambientes e a cada redução ou elevação do nível do mar, os manguezais reorganizam-se para evitar a própria extinção (PASSENDA et al., 2012).

No ano de 1983, Saenger et al., estimaram a distribuição de mangues na costa brasileira em 25.000 km², com diversificação aparente. Os mangues do Amapá, Pará e Maranhão possuem árvores de até 40m de altura; entre o Ceará e o Espírito Santo, as árvores podem alcançar até 20m, e, entre o Rio de Janeiro e Santa Catarina é possível ver manguezais de altura máxima de 10m (VANNUCCI, 2002). Apenas o estado costeiro do Rio Grande do Sul não possui manguezal (SCHAEFFER-NOVELLI et al., 2000). Variações que ocorrem em meio aos fatores abióticos distintos e reguladores da dinâmica litorânea brasileira.

De modo geral, existem sete espécies de árvores de mangues no Brasil: *Rhizophora mangle* L., *Rhizophora harrisonii* Leech, *Rhizophora racemosa* Meyer, *Avicennia schaueriana* Stapf e Laechm, *Avicennia germinans* (L.) L., *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn f. e *Conocarpus erectus* L. (SCHAEFFER-NOVELLI et al.,

1990). Todavia, apenas as espécies *A. germinans*, *L. Racemosa* e *R. mangle*, são encontradas ao longo de toda a costa brasileira, onde os mangues distribuem-se desde o Cabo Orange (04°21'N) até a cidade de Laguna (28°30'S), em Santa Catarina. Configuração esta, que fora fortemente influenciada e determinada pelas variações glácio-eustáticas do nível relativo do mar (NRM), do período holocênico (SOARES, 2009).

Um número considerável de espécies, incluindo microorganismos diversos, plantas associadas, artrópodes, moluscos, peixes e aves, recebem suporte crucial à sobrevivência, por meio dos benefícios ecológicos oferecidos. Esse ecossistema também pode servir como base de repouso e de alimentação para aves migratórias neotrópicas e neoárticas, dentre elas o socoí-amarelo (*Ixobrychus involucris*) e o marreco-bico-roxo (*Oxyura dominica*) (SCHAEFFER-NOVELLI et al., 1990).

As características morfofisiológicas da fauna e flora dos manguezais expressam adaptações convergentes, as quais permitem a sobrevivência de seres em um ambiente singular (VANNUCCI, 2002). Para a autora, as plantas, de forma bastante particular, exibem sistema radicular acima da superfície do solo, com suas raízes aéreas que saem dos galhos e dirigem-se para o solo; raízes-escora que mudam em sua forma e aspecto e ancoram o tronco à superfície lamosa; além dos pneumatóforos que emergem das raízes subterrâneas e, verticalmente, respiram. Mesmo diferenciadas, essas raízes apresentam a mesma função: sustentar a planta no solo e aerar os tecidos das raízes que contam com um ambiente geralmente anóxico, quando subterrâneas.

Os mangues, pela capacidade de excretar o sal, absorvem e retém a quantidade de água necessária para garantir a sobrevivência. As raízes aéreas possuem estruturas denominadas lenticelas, as quais favorecem as trocas gasosas entre as plantas e o meio atmosférico. Além dessas adaptações, observa-se que a viviparidade garante maior resistência à salinidade e permite que os propágulos, quando transportados, fixem-se no substrato típico do manguezal e colonizem outras regiões (Ibid).

As características singulares dos mangues estão associadas às diferentes formas de zoneamento em localidades distintas. Quanto às principais causas responsáveis pelo diferenciado zoneamento dos mangues, destacam-se a sucessão ecológica, mudanças geomorfológicas, fatores fisiológicos, além de dispersão preferencial de propágulos e predação. Apesar disso, outros fatores inerentes ao ambiente podem ser responsáveis pela zonação particular de cada área a ser investigada, o que revela que os fatores

determinantes da zonação dependerão das condições ambientais que cada ambiente de manguezal apresenta (JIMÉNEZ; SAUTER, 1991). A zonação de mangues está relacionada às respostas ecofisiológicas das plantas, que podem ser causadas por uma série de fatores ambientais (WOODROFFE, 1992). Desse modo, estudos sobre as diferenças de parâmetros entre zonas, envolvendo as populações, podem fornecer informações que permitam identificar mecanismos determinantes da zonação da flora.

Em vista disso, os manguezais são sistemas de relevante interesse ecológico, econômico e social, que vivem em ambientes heterogêneos e têm estabelecido estratégias de sobrevivência em meio às adversas condições ambientais que são impostas ao sistema ambiental, sejam elas de origem natural ou antrópica.

2.2 Diversidade plástica da flora do manguezal

A heterogeneidade ambiental característica de espécies com ampla distribuição geográfica pode promover a diferenciação entre as populações locais, as quais ficam submetidas às condições físicas e bióticas singulares e contrastantes (DOMÍNGUEZ et al., 1998). As consequências dessa heterogeneidade para cada população irão depender da importância relativa do fluxo gênico entre as populações e dos processos evolutivos que operam em escala local (WRIGHT, 1931, 1932, 1988; SLATKIN, 1987, 1993).

Os mangues refletem as condições ambientais adversas a que estão submetidos. As folhas, por exemplo, constituem sondas relevantes nos estudos da autoecologia e sinecologia pelo fato de possuírem estratégias evolutivas específicas que dependem da forma como se relacionam com o ambiente (PYYKKO, 1979). Consequentemente, a plasticidade dentro da mesma planta em ambientes heterogêneos é muito importante para sobrevivência dos mangues, do ponto de vista adaptativo (ZUNZUNEGUI et al., 2011).

Esta diferenciação ocorre devido à capacidade que os organismos possuem de interagir com o ambiente e de ter seu fenótipo modificado sob diferentes condições ambientais, o que se denomina plasticidade fenotípica (STEARNS, 1989; GRATANI, 2014).

Na natureza é difícil encontrar casos de ausência de plasticidade. Por esta razão, as pesquisas devem voltar-se para análises comparativas de unidades de estudo com o propósito de verificar diferenças na plasticidade. Quando as questões de pesquisa tomam este foco no âmbito da plasticidade fenotípica e as investigações ocorrem em diversos níveis de organização biológica, a exemplo de populações dentro de uma espécie, é preciso fazer uma amostragem profunda de campo, seguida de uma triagem aleatória de indivíduos (GIANOLI; VALLADARES, 2012).

Ressaltam ainda os autores que o fato essencial para a ecologia de uma espécie diz respeito à expressão de um determinado fenótipo no tempo e espaço e isso independe de mudanças orientadas pelos fatores, tamanho e ontogenia, os quais não afetam na implicação funcional final: a aptidão individual. A seleção natural, portanto, atua sobre as modificações de traços particulares que mostram que a sobrevivência e ou reprodução estão associados com a expressão de determinadas características fenotípicas, independentemente de outros mecanismos que já são inerentes ao processo de desenvolvimento das plantas.

Ao tratar-se da atuação da variável climática sobre os manguezais é relevante observar que pode haver expansão ou contração de habitat devido às modificações de precipitação, bem como mudanças nos padrões da vegetação decorrente das alterações do nível do mar, perda de folhas em meio à infestação de insetos, sufocamento das raízes por sedimentos finos, ervas marinhas ou algas e a desestabilização de árvores por causa da erosão de sedimentos (TREWIN, 2013). Dessa forma, ao considerar que o clima é mais um relevante agente responsável pela heterogeneidade ambiental, é possível inferir que as plantas podem apresentar respostas plásticas às variações desta importante variável ambiental (NICOTRA et al., 2010). Esta afirmação torna-se preocupante na medida em que as condições climáticas têm mudado com perspectivas negativas para o futuro (IPCC, 2007) e as populações de plantas respondem a cada mudança do clima (PEÑUELAS, FILELLA, 2001; PARMESA, YOHE, 2003) para evitar a própria extinção, seja através da plasticidade fenotípica ou da evolução adaptativa (HOFFMAN, 2011).

Além dos fatores climáticos, os mangues também apresentam um elevado nível de plasticidade em resposta à salinidade, inundações e disponibilidade de nutrientes (FELLER et al., 2010).

A salinidade do solo atua de maneira variável nos distintos habitats onde a flora de manguezal consegue colonizar e se estabelecer. Ainda que sejam halófitas em sua maioria e necessitem do sal para completar o ciclo de vida, a salinidade para algumas espécies tem consequências negativas em relação aos processos metabólicos e taxas de crescimento (CINTRÓN et al., 1978).

No caso da salinidade, os custos envolvidos com a sobrevivência das plantas são altos (BURCHETT et al., 1989). Nesse sentido, entre outros fatores que favorecem a adaptação da planta, a anatomia especializada limita a perda de água (TOMLINSON, 1986), o arranjo das folhas é organizado de maneira que o balanço hídrico seja melhor aproveitado pelas plantas e assim o tamanho das folhas sofrerá variações em decorrência de variantes ambientais (LOVELOCK et al., 2006).

A tolerância da flora de manguezal ao alagamento é um dos serviços mais valiosos que as florestas de mangues prestam para a sobrevivência do ecossistema (FELLER et al., 2010). Mas, esta particularidade influencia em processos ligados ao crescimento individual e está fortemente relacionada à morfologia e fisiologia das raízes, o que consequentemente influencia nos padrões da floresta como um todo (YOUSSEF; SAENGER, 1998).

Sobre a disponibilidade de nutrientes no solo, ocorrem variações dentro e entre os ecossistemas de manguezal. A quantidade de nutrientes em localidades próximas ao oceano é extremamente baixa, contudo, é muito elevada nos sistemas de acreção de lama e nos locais que recebem efluentes resultantes das atividades humanas no geral, especialmente ações antrópicas ligadas à aquicultura (ALONGI, 2002).

O uso eficiente dos nutrientes em meio à alta disponibilidade destes para os mangues, expressa características morfológicas e fisiológicas diferenciadas. Em locais onde há disponibilidade de nutrientes suficientes para o desempenho eficaz da planta, as raízes são mais reforçadas (NAIDOO, 2009), as folhas apresentam alta expectativa de vida (DUKE, 1990), além de serem grossas (FELLER; CHAMBERLAIN, 2007) e a taxa de reabsorção pelos tecidos antes da senescência, também é eficiente (FELLER et al., 2010).

Por outro lado, florestas de mangues situadas em locais de baixa disponibilidade de nutrientes revelam consequências disto sobre o ecossistema, mas ainda assim apresentam espécies que conseguem colonizar e desenvolver-se, como é o

caso das espécies neotropicais altamente adaptadas à baixa disponibilidade de nutrientes: a *Rhizophora mangle* (NASCIMENTO, 2008; FELLER et al., 2010) e a *Laguncularia racemosa* (FELLER et al., 2010).

Dessa forma, as condições climáticas e as variações regionais e locais de áreas costeiras são fatores limitantes que interferem tanto na colonização e desenvolvimento dos mangues, como também nas características morfológicas e fisiológicas das plantas, o que requer estudos cada vez mais atualizados no campo da avaliação da distribuição das espécies e da plasticidade fenotípica dos mangues voltados para conservação do sistema ambiental.

2.3 Diversidade funcional dos manguezais *versus* degradação das florestas de mangues

As florestas de mangues constituem a base da economia de muitas regiões costeiras tropicais fornecendo, pelo menos aos Estados Unidos da América, 1,6 bilhões de dólares por ano em serviços ecossistêmicos. Acredita-se que quase 80% das capturas mundiais de peixes são diretamente ou indiretamente dependentes de manguezais (POLIDORO et al., 2010).

Dentre as funções socioambientais, o manguezal protege a linha costeira; atua como barreira mecânica contra a ação erosiva das ondas e marés; retém sedimentos carregados pelos rios; possui ação depuradora, atua como filtro biológico natural da matéria orgânica e como área de retenção de metais pesados; é ambiente de concentração de nutrientes; área de renovação da biomassa costeira; estabilizador climático (ROBERTSON, PHILLIPS, 1995; VANNUCCI, 2002; SCAVIA et al., 2002); barreira protetiva contra desastres naturais; provém meios de subsistência às populações e é ambiente de valorização cultural e estética para diversos povos (POLIDORO et al., 2010).

Consoante os autores, os manguezais são capazes de sequestrar até 25,5 milhões de toneladas de carbono por ano e fornecer mais do que 10% do carbono orgânico essencial para os oceanos globais. Embora seja difícil quantificar o valor econômico de manguezais, o número relativamente pequeno de espécies de mangues em todo o mundo fornece coletivamente uma variedade de serviços e bens.

Quanto aos serviços ecossistêmicos definidos pela Avaliação Ecosistêmica do Milênio (2005), os serviços de provisão caracterizam-se pela capacidade dos ecossistemas em prover bens, como alimentos provenientes da pesca. Os serviços reguladores correspondem aos benefícios obtidos a partir dos processos naturais, reguladores dos fatores que garantem a sobrevivência humana, a exemplo dos processos de regulação dos ciclos d'água, desintoxicação, tratamento de resíduos entre outros. Os serviços culturais estão associados à relevância dos ecossistemas em oferecer serviços de recreação, ligado à estética e até mesmo serviços religiosos. Além disso, são ambientes de rica valorização cultural, especialmente, para as comunidades tradicionais. Quanto aos serviços de suporte, esses correspondem aos processos naturais necessários para que outros serviços existam. Como exemplo, os manguezais oferecem serviços de suporte ao fornecer a ciclagem de nutrientes (BRASÍLIA, 2012). Outros benefícios de seus respectivos serviços estão destacados no quadro 2.1.

Quadro 2.1: Tipos de serviços ambientais oferecidos pelos manguezais.

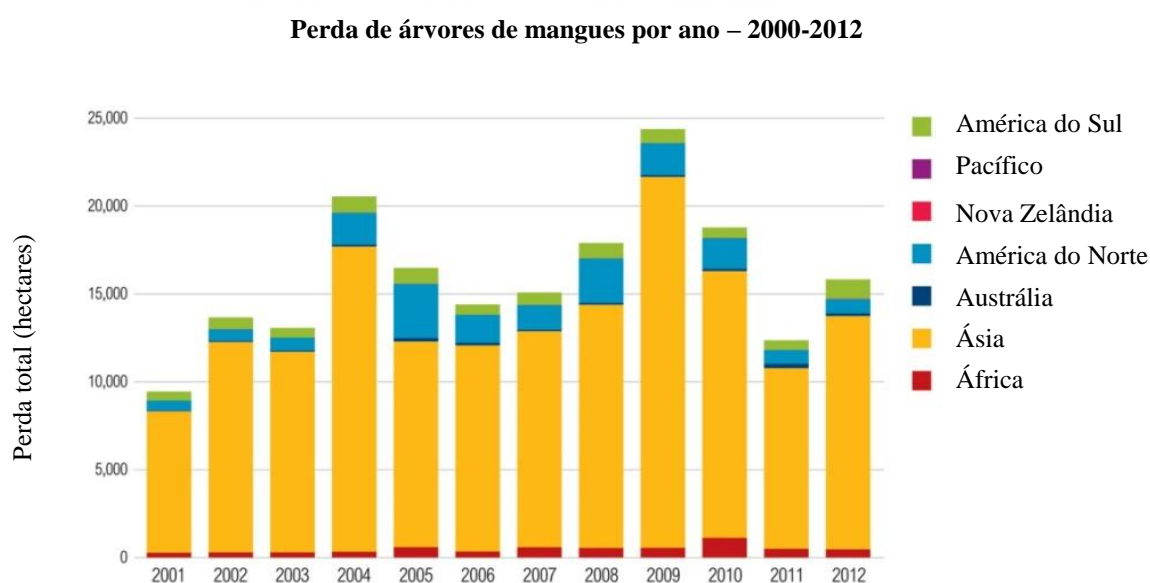
Serviços de provisão	Serviços de regulação	Serviços culturais
<i>Produtos obtidos dos ecossistemas</i>	<i>Benefícios obtidos da regulação de processos ecossistêmicos</i>	<i>Benefícios intangíveis obtidos dos ecossistemas</i>
Alimentos	Regulação do clima	Religiosos
Água doce	Regulação das doenças	Paisagísticos
Fibras	Regulação da água	Estéticos
Produtos químicos	Purificação da água	Sentido de lugar
Recursos genéticos	Polinização	Patrimônio Cultural
Madeira		Inspiradores
Serviços de Suporte		
<i>Serviços necessários para a produção de todos os outros serviços ecossistêmicos</i>		
Formação do solo	Ciclagem de nutrientes	Produção primária

Fonte: Avaliação Ecosistêmica do Milênio (2005).

Os manguezais da Índia possuem a maior diversidade de espécies dentre as outras regiões do globo (SAHU et al., 2015). Recentemente o *World Resources Institute* (WRI) realizou uma pesquisa acerca da perda mundial da cobertura florestal de mangues, a partir do uso de dados de satélite dos anos de 2001 – 2012, da Universidade de Maryland e da plataforma do Google, associado aos dados de extensão de áreas de manguezal mapeadas pelo trabalho de Giri et al. (2011). Através do uso da plataforma *Global Forest Watch*, que faz o monitoramento de florestas, foi descoberto que o mundo

perdeu 192.000 hectares (ha) de mangues entre 2001-2012, o que significa uma perda de 1,38% de áreas de mangue desde o ano de 2000. Partindo dessas informações ainda, afirmou-se que a Ásia, região que possui a maior área de floresta de mangue no mundo, é a que sofre a maior perda do ecossistema (Gráfico 2.1) (STRONG; MINNEMEYER, 2015).

Gráfico 2.1: Levantamento da perda de áreas de manguezal entre os anos de 2000 – 2012 no mundo.



Fonte: *World Resources Institute* (2015) In: Strong e Minnemeyer (2015).

É importante destacar que na região de Sunderbans, na Índia e Bangladesh, está situada a maior área mundial de floresta de mangues e o famoso *hotspot* da biodiversidade (VANNUCCI, 2002), com cerca de um milhão de hectares, onde são abrigadas 270 espécies de aves, 35 de répteis e 42 de mamíferos, além de espécies ameaçadas como o crocodilo estuarino, pitão indiano e o tigre de bengala. Sunderbans é a única área conhecida até então onde os tigres estão adaptados aos ambientes de manguezal. Mesmo assim, a floresta de Sunderbans tem identificado o desaparecimento de suas áreas em meio ao afogamento da ilha deltaica ao longo das três últimas décadas (SHEARMAN et al., 2013), que é decorrente da redução do transporte de sedimentos do Ganges e de outros rios para o mar em meio ao represamento, além da elevação do nível do mar na região (RAHU et al., 2012).

No que se refere à flora, das 70 espécies de mangues que se distribuem mundialmente, a maioria na Ásia e Oceania, está sob risco de extinção e desaparecimento na próxima década, o que poderá provocar consequências devastadoras, principalmente para as comunidades costeiras que sobrevivem dos recursos oferecidos pelos manguezais (POLIDORO et al., 2010). Os autores afirmaram que 11 (16%) espécies, do quantitativo 70, qualificaram-se para uma das três categorias da Lista Vermelha de ameaça, como criticamente em perigo, em perigo ou vulnerável (Quadro 2.2) (POLIDORO et al., 2010).

Quadro 2.2: Espécies de mangues e classificação de acordo com as categorias da lista vermelha da IUCN.

Família	Espécies	Categoria	Família	Espécies	Categoria
ACANTHACEAE	<i>Acanthus ebracteatus</i>	LC	MALVACEAE	<i>Camptostemon schultzei</i>	LC
ACANTHACEAE	<i>Acanthus ilicifolius</i>	LC	MALVACEAE	<i>Heritiera fomes</i>	EN
ACANTHACEAE	<i>Acanthus volubilis</i>	LC	MALVACEAE	<i>Heritiera globosa</i>	EN
ACANTHACEAE	<i>Acanthus xiamenensis</i>	DD	MALVACEAE	<i>Heritiera littoralis</i>	LC
ACANTHACEAE	<i>Avicennia alba</i>	LC	MELIACEAE	<i>Aglaia cucullata</i>	DD
ACANTHACEAE	<i>Avicennia bicolor</i>	VU	MELIACEAE	<i>Xylocarpus granatum</i>	LC
ACANTHACEAE	<i>Avicennia germinans</i>	LC	MELIACEAE	<i>Xylocarpus moluccensis</i>	LC
ACANTHACEAE	<i>Avicennia integra</i>	VU	MYRSINACEAE	<i>Aegiceras corniculatum</i>	LC
ACANTHACEAE	<i>Avicennia marina</i>	LC	MYRSINACEAE	<i>Aegiceras floridum</i>	NT
ACANTHACEAE	<i>Avicennia officinalis</i>	LC	MYRTACEAE	<i>Osbornia octodonta</i>	LC
ACANTHACEAE	<i>Avicennia rumphiana</i>	VU	PLUMBAGINACEAE	<i>Aegialitis annulata</i>	LC
ACANTHACEAE	<i>Avicennia schaueriana</i>	LC	PLUMBAGINACEAE	<i>Aegialitis rotundifolia</i>	NT
ARECACEAE	<i>Nypa fruticans</i>	LC	PTERIDACEAE	<i>Acrostichum aureum</i>	LC
ARECACEAE	<i>Phoenix paludosa</i>	NT	PTERIDACEAE	<i>Acrostichum danaeifolium</i>	LC
BIGNONIACEAE	<i>Dolichandrone spathacea</i>	LC	PTERIDACEAE	<i>Acrostichum speciosum</i>	LC
BIGNONIACEAE	<i>Tabebuia palustris</i>	VU	RHIZOPHORACEAE	<i>Bruguiera cylindrica</i>	LC
COMBRETACEAE	<i>Conocarpus erectus</i>	LC	RHIZOPHORACEAE	<i>Bruguiera exaristata</i>	LC
COMBRETACEAE	<i>Laguncularia racemosa</i>	LC	RHIZOPHORACEAE	<i>Bruguiera gymnorhiza</i>	LC
COMBRETACEAE	<i>Lumnitzera littorea</i>	LC	RHIZOPHORACEAE	<i>Bruguiera hainesii</i>	CR
COMBRETACEAE	<i>Lumnitzera racemosa</i>	LC	RHIZOPHORACEAE	<i>Bruguiera parviflora</i>	LC
EBENACEAE	<i>Diospyros littorea</i>	LC	RHIZOPHORACEAE	<i>Bruguiera sexangula</i>	LC
EUPHORBIACEAE	<i>Excoecaria agallocha</i>	LC	RHIZOPHORACEAE	<i>Ceriops australis</i>	LC
EUPHORBIACEAE	<i>Excoecaria indica</i>	DD	RHIZOPHORACEAE	<i>Ceriops decandra</i>	NT
FABACEAE	<i>Cynometra iripa</i>	LC	RHIZOPHORACEAE	<i>Ceriops tagal</i>	LC
FABACEAE	<i>Mora oleifera</i>	VU	RHIZOPHORACEAE	<i>Ceriops zippeliana</i> [52]	LC
LYTHRACEAE	<i>Pemphis acidula</i>	LC	RHIZOPHORACEAE	<i>Kandelia candel</i>	LC
LYTHRACEAE	<i>Sonneratia alba</i>	LC	RHIZOPHORACEAE	<i>Kandelia obovata</i>	LC
LYTHRACEAE	<i>Sonneratia apetala</i>	LC	RHIZOPHORACEAE	<i>Rhizophora apiculata</i>	LC
LYTHRACEAE	<i>Sonneratia caseolaris</i>	LC	RHIZOPHORACEAE	<i>Rhizophora mangle</i>	LC
LYTHRACEAE	<i>Sonneratia griffithii</i>	CR	RHIZOPHORACEAE	<i>Rhizophora mucronata</i>	LC
LYTHRACEAE	<i>Sonneratia lanceolata</i>	LC	RHIZOPHORACEAE	<i>Rhizophora racemosa</i>	LC
LYTHRACEAE	<i>Sonneratia ovata</i>	NT	RHIZOPHORACEAE	<i>Rhizophora samoensis</i>	NT
MALVACEAE	<i>Brownlowia argentata</i>	DD	RHIZOPHORACEAE	<i>Rhizophora stylosa</i>	LC
MALVACEAE	<i>Brownlowia tersa</i>	NT	RUBIACEAE	<i>Scyphiphora hydrophyllacea</i>	LC
MALVACEAE	<i>Camptostemon philippinense</i>	EN	TETRAMERISTACEAE	<i>Pelliciera rhizophorae</i>	VU

CR – criticamente em perigo, EM – ameaçados, VU – vulnerável, NT – quase ameaçada, LC – menor preocupação, DD – dados insuficientes.

Fonte: POLIDORO et al. (2010).

A perda de áreas florestadas de mangues, apesar de ter a atuação da influência climática, é intensamente resultante das ameaças antropogênicas, dentre as principais: destruição do habitat e remoção das áreas de mangues para aquicultura, agricultura, desenvolvimento urbano e costeiro e sobre-exploração como um todo. Sendo que a aquicultura e a sobre-exploração da pesca são as maiores ameaças às espécies de manguezal nos próximos 15 anos (Ibid).

Ressalte-se que mesmo aquelas espécies que apresentaram em 2010 uma menor preocupação, segundo o quadro 2.2 estas também se encontram ameaçadas e devem ser monitoradas, pois, todo e qualquer tensor, seja ele natural ou antrópico, pode modificar as características estruturais físico-químicos e biológicos dos manguezais e, consequentemente, alterar a dinâmica dos processos responsáveis pela manutenção e desenvolvimento dos mangues e do ecossistema como um todo (SANTOS; MELO e SOUZA, 2015).

Enquanto na Ásia encontra-se a maior região de manguezal do mundo, na América do Sul, o Brasil representa a segunda maior área de floresta de mangue do globo (SANTOS et al., 2014). Mesmo em continentes diferentes, as duas regiões estão sob a crescente pressão de um conjunto de ações humanas responsáveis pela destruição dos manguezais, dentre elas: o desenvolvimento costeiro desenfreado, atividades agrícolas, poluição e aquicultura intensiva.

Uma pesquisa realizada entre os anos de 2013 e 2014 acerca da situação da Mata Atlântica, bioma que, entre as diversas fitofisionomias, abriga os manguezais, e divulgada pela Organização Não-Governamental Fundação SOS Mata Atlântica em 2015, mostrou que na escala adotada da pesquisa não foi identificada a supressão de mangues e que na Mata Atlântica as áreas de manguezal equivalem a 231.051 hectares. Nessa perspectiva, de acordo com a Organização Não-Governamental, o quantitativo de mangues nos estados brasileiros com maiores extensões do ecossistema são: Bahia (62.638ha), Paraná (33.403ha), São Paulo (25.891ha) e Sergipe (22.959ha).

Contudo, estima-se que os manguezais brasileiros tenham sido perdidos em uma porcentagem de 25% desde o começo do século XX. Fator que está associado às contínuas ações antropogênicas que põe o sistema ambiental em estado de vulnerabilidade à perda, provoca a fragmentação da cobertura vegetal e a deterioração da qualidade dos manguezais brasileiros. Esta situação ainda é mais grave nas regiões nordeste e sudeste, onde os níveis de fragmentação são mais altos em relação às regiões

norte e sul. Em resumo, 40% do que foi um dia extensão de manguezais já não existe mais no século XXI (ICMBio, 2015).

Apesar do cenário de degradação dos manguezais, o relatório do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente divulgou, em 30 de setembro de 2014, a informação de que o Brasil registrou uma das taxas mais baixas de perda de áreas de manguezal. Esta afirmação é resultado da existência de Áreas Protegidas no país que abrigam os manguezais e têm, entre outras obrigações, a função de protegê-los (PNUMA, 2014).

Nessa perspectiva, reflete-se que, mesmo em meio à destruição dos manguezais brasileiros, registrada a partir do período colonial (SCHAEFFER-NOVELLI et al., 1990; VANNUCCI, 2002) e intensificada desde a década de 1950, no período de industrialização acelerada do país (VANNUCCI, 2002), ao contrário da maioria dos países que abrigam este ecossistema, o Brasil conseguiu dar passos legais em relação à proteção deste sistema ambiental e foram reconhecidos como Áreas Protegidas. Este cenário torna-se mais favorável e esperançoso no âmbito da conservação dos manguezais ao observar a criação do Projeto Manguezais pelo Ministério do Meio Ambiente, no ano de 2015, com o propósito de melhorar a capacidade do país em promover a conservação e o uso sustentável dos recursos ecossistêmicos dos manguezais, mediante o fortalecimento das Unidades de Conservação, uma das tipologias do grupo de Áreas Protegidas brasileiras (BRASIL, 2015).

2.4 Manguezais brasileiros e Áreas Protegidas

A definição do termo Áreas Protegidas está disposta de várias formas na literatura, sendo todas as definições de caráter geográfico, uma vez que o fato da existência de áreas protegidas requer necessariamente a identificação e a localização geográficas (MEDEIROS; GARAY, 2006; SANTOS, 2015).

Consoante o art. 8º da Convenção para Diversidade Biológica, as Áreas Protegidas são relevantes instrumentos para a conservação da biodiversidade *in situ* (REIS et al., 2006; SANTOS, 2015).

Para a União Mundial para a Conservação da Natureza (IUCN), a Área Protegida corresponde a uma área claramente definida, reconhecida, dedicada e gerida, principalmente por meio de instrumentos da lei, que tenham por função proteger e

manter a diversidade biológica, além dos recursos naturais e culturais que a ela estejam associados (IUCN, 2008).

No período colonial as medidas tomadas pelo império visavam proteger determinados recursos naturais, porém, foi somente no período Republicano, com a criação do Parque Nacional de Itatiaia, que limites territoriais foram descritos (MEDEIROS; GARAY, 2006, SANTOS, 2015). Ressalte-se que tal medida só foi possível em virtude da existência do antigo Código Florestal, Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965 (BRASIL, 1965), o qual foi revogado no ano de 2012 pela Lei nº 12.651/12 que trata do novo Código Florestal (BRASIL, 2012).

No Brasil, as áreas protegidas estão representadas por cinco tipologias distintas, correspondentes às Unidades de Conservação, às Áreas de Preservação Permanente, às Reservas Legais, às Terras Indígenas e às Áreas com Reconhecimento Internacional (MEDEIROS, 2006). Cada uma delas subdivide-se em categorias com objetivos e estratégias de gestão e manejo distintos (MEDEIROS; GARAY, 2006, SANTOS, 2015).

De acordo com a Lei nº 12.651/12, os manguezais são reconhecidos como Áreas de Preservação Permanente, conforme trata o art. 4º desta lei:

Art. 4º Considera-se Área de Preservação Permanente, em zonas rurais ou urbanas, para os efeitos desta Lei: [...]
VII – os manguezais, em toda a sua extensão; (BRASIL, 2012).

Consoante a mesma Lei, que estabelece normas gerais sobre, entre outros assuntos, Áreas de Preservação Permanente, o art. 3º faz entender no inciso II:

II - Área de Preservação Permanente - APP: área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas (BRASIL, 2012).

O Brasil possui um arcabouço de regulamentos e instituições que alicerçam a conservação dos manguezais. O Ministério do Meio Ambiente (MMA) é o órgão federal responsável pela política e planejamento de atividades ambientais, além de cuidar do uso e conservação dos recursos oferecidos pelos manguezais. Já o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) fica responsável pela

execução das deliberações do MMA. O Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) é responsável pela criação, gerenciamento e monitoramento das Unidades de Conservação de cunho federal (SCHAEFFER-NOVELLI, 1995).

No que se refere aos estados e municípios que abrigam a faixa litorânea brasileira onde ocorrem os manguezais, do Amapá até Santa Catarina, cabem a estes apenas suplementar a legislação federal e estadual (CANOTILHO; MORATO LEITE, 2007). Assim, estados e municípios podem criar espaços com restrições ambientais mais explícitas atendendo a realidade local. Entretanto, a criação destes espaços deve, *a priori*, estar submetida principalmente aos requisitos estabelecidos pela ordem jurídica, no tocante ao exercício regular da competência legislativa e ao respeito pelas normas determinadas pela esfera federal (NIEBUHR, 2012).

Nesse ponto de vista, cabem aos órgãos estaduais de meio ambiente a execução de políticas em suas áreas de jurisdição (SCHAEFFER-NOVELLI, 1995). Em Sergipe, estado litorâneo que abriga os manguezais de interesse desta tese, esta responsabilidade fica a cargo da Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMARH/SE).

Nos municípios, as políticas ambientais locais, o diagnóstico para zoneamento ambiental e os processos de licenciamento e fiscalização ambiental nas áreas de competência ficam por conta das agências ambientais municipais, as quais integram o Sistema Nacional de Meio Ambiente (SISNAMA). Este é regido pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), órgão consultivo e deliberativo de alto nível.

Apesar disso, o marco legal do novo Código Florestal abre um precedente preocupante quando se trata das áreas de manguezal, principalmente quando se considera que as atividades antropogênicas têm sido intensificadas em todo litoral brasileiro. Segundo o art. 8º da Lei nº 12.651/12, § 2º:

Art. 8º A intervenção ou a supressão de vegetação nativa em Área de Preservação Permanente somente ocorrerá nas hipóteses de utilidade pública, de interesse social ou de baixo impacto ambiental previstas nesta Lei.

§ 2º A intervenção ou a supressão de vegetação nativa em Área de Preservação Permanente de que tratam os incisos VI e VII do caput do art. 4º poderá ser autorizada, excepcionalmente, em locais onde a função ecológica do manguezal esteja comprometida, para execução de obras habitacionais e de urbanização, inseridas em projetos de

regularização fundiária de interesse social, em áreas urbanas consolidadas ocupadas por população de baixa renda (BRASIL, 2012).

Relembre-se que o inciso VII, do art. 4º desta lei, refere-se aos manguezais em toda sua extensão, enquanto Áreas de Preservação Permanente. Por outro lado, a lei não menciona a execução de trabalhos de recuperação de áreas de manguezal quando estas demonstrarem-se ameaçadas de extinção, mas sim, através do art. 8º autoriza que novas áreas de manguezal sejam destruídas, caso não apresentem os elementos caracterizadores que definem o manguezal como Área de Preservação Permanente protegida por lei: terrenos baixos sujeitos à ação das marés, formado por vasas lodosas recentes ou arenosas, de solo limoso, com influência flúvio-marinha, coberto por vegetação natural de mangue (BRASIL, 2012).

Esta lacuna legislativa abre o leque de possibilidades para extinção de áreas de manguezal no Brasil e contribui para o aumento da taxa de degradação das florestas. Os manguezais desaparecem em uma faixa de 3,6% ao ano nas Américas por conta dos impactos antropogênicos, principalmente em virtude das práticas não-sustentáveis da aquicultura (DUKE et al., 2007).

E, ainda que, de acordo com o art. nº 38, Seção II, da lei 9.605/1998, que trata dos crimes ambientais, seja proibida a destruição ou o ato de danificar floresta considerada de preservação permanente, mesmo que em formação, ou utilizar dessa vegetação com infringência das normas de proteção, (BRASIL, 1998), a fiscalização ambiental no Brasil é incipiente e acaba permitindo que práticas danosas estressem o ambiente de maneira crônica, a ponto de comprometê-lo em sua sobrevivência. Como resultado do processo de distúrbio crônico sobre o ecossistema, o manguezal passa a ser descaracterizado e a lei permitirá a execução de obras habitacionais e de urbanização, o que, consequentemente extingirá mais uma área de manguezal.

Nesse contexto, é importante reforçar a importância da proteção às áreas de manguezal. Segundo um estudo publicado pelo Centro de Pesquisa sobre a Epidemiologia dos desastres (CRED), o Brasil está entre os 10 países que mais sofrem com os desastres naturais, na escala temporal de análise entre 2004-2014, principalmente em decorrência das inundações (GUHA-SAPIR et al., 2014). Destacam os autores que foram 51 milhões de prejudicados, sendo que em 2011 foram 900 vítimas mortas.

Portanto, é preciso que as áreas de manguezal continuem sendo investigadas por estudiosos que enxerguem o potencial ecológico, social e econômico do ecossistema. É preciso que se invista na recuperação de áreas degradadas, a fim de dar passos rumo a não extinção completa deste sistema ambiental. Além disso, a tomada de atitudes é fundamental para informar aos setores público e o privado sobre a necessidade do preenchimento das atuais lacunas legislativas, no intuito de colocar fim à perda de áreas do ecossistema, de favorecer às populações ribeirinhas e de minimizar os impactos ambientais negativos decorrentes das mudanças climáticas.

Nesse contexto, a assinatura da portaria que dispõe sobre o Plano de Ação Nacional para a Conservação das Espécies Ameaçadas e de Importância Socioeconômica do Ecossistema Manguezal - PAN Manguezal, em 9 de janeiro de 2015 pelo presidente do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade foi um importante passo rumo a conservação dos manguezais brasileiros. O objetivo geral do PAN Manguezal é conservar os manguezais, de modo que a degradação seja reduzida e a proteção das espécies focais do PAN sejam efetivadas, mantendo as áreas e usos tradicionais, mediante a relação direta entre o poder público e a sociedade, sem deixar de considerar o conhecimento da academia e os saberes tradicionais (BRASIL,2015).

As regiões definidas como áreas estratégicas do PAN Manguezal abrangem: a costa norte; nordeste e Espírito Santo; sudeste e sul. Ou seja, toda a costa brasileira deverá abranger o Plano de Ação, o qual estabelece ações de conservação para 74 (setenta e quatro) espécies da fauna aquática dependente dos manguezais, das quais 20 (vinte) estão ameaçadas no Brasil, 9 (nove) sofrem ameaças em nível regional e 45 (quarenta e cinco) são espécies de importância socioeconômica e não ameaçadas (BRASIL, 2015). Nesta última lista estão incluídas as espécies florísticas: *A. germinans*, *A. schaueriana*, *C. erectus*, *L. racemosa*, *R. harrisonii* e *R. mangle*.

No entanto, ao considerar que o manguezal é um ambiente complexo, que tem a vegetação como pilar da formação e desenvolvimento do ecossistema e que as perspectivas de destruição são crescentes diante do desenvolvimento desenfreado, gera-se uma preocupação quanto à classificação da flora na categoria de não ameaçada. Ora, se o ecossistema de manguezal encaixa-se na classificação de Odum (1988), enquanto sistema ecológico que abrange todos os organismos que funcionam em conjunto numa dada área em interação com o ambiente físico, de tal maneira que o fluxo de energia seja produtor de estruturas claramente definidas e de ciclagem de nutrientes entre meio biótico e abiótico, então não se pode pensar no produtor primário de energia, com

singularidades e diversidade plástica, como é o caso da flora de manguezal, como elementos não ameaçados.

Ainda sobre as estatísticas divulgadas pelo PAN Manguezal, reflita-se: se a ostra do mangue (*Crassostrea rhizophorae*), o siri (*Callinectes larvatus*) e o caranguejo-uçá (*Ucides cordatus*) que são organismos residentes do manguezal fazem parte do grupo das nove (9) espécies ameaçadas de extinção em nível regional, como não pensar que os mangues consequentemente também não estão ameaçados e, ao serem reduzidos, podem ser mais um contribuinte para o desaparecimento dos organismos ameaçados?

A extinção de organismos da fauna, a exemplo dos supracitados, podem não causar a extinção dos mangues, pois, segundo as reflexões de Bertalanffy (2015), um elemento não é puramente a causa da extinção do outro. No entanto, o desaparecimento dos organismos vivos é algo intimamente relacionado. Assim, ainda que o desmatamento de mangues, não apareça nas estatísticas brasileiras do PAN Manguezal, o desaparecimento da flora endêmica é uma realidade dos municípios que continuam a crescer desordenadamente.

Por esse ângulo, em meio à fragilidade e vulnerabilidade ambiental das áreas de manguezal, a redução da flora é mais um elemento contribuinte no aumento futuro da lista da fauna que pode desaparecer, caso medidas mais efetivas de conservação da flora não sejam ampliadas e consideradas com rigor legal. Para tanto, faz-se necessário que novas pesquisas reflitam acerca do sentido e importância real da conservação da vegetação responsável pela existência do manguezal.

Apesar do cenário no Brasil, desde o antigo Código Florestal, Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965 (BRASIL, 1965), até o novo documento, Lei nº 12.651/12, os manguezais são protegidos a partir da sua classificação como Áreas de Preservação Permanente, desde que os elementos constituintes estejam compatíveis com o texto da Lei¹.

Não menos importante, observa-se que APPs podem ser incluídas dentro de delimitações de Unidades de Conservação no Brasil, as quais são descritas pela Lei nº 9985, de 18 de julho de 2000 (BRASIL, 2000), garantindo, legalmente, maior proteção aos ecossistemas, como é o caso dos manguezais.

¹ Rever art. 3º, inciso XIII, da Lei nº 12.651/12 neste tópico do documento.

2.5 Cenário das Unidades de Conservação do Brasil (Ucs)², a luz do Sistema de Unidades de Conservação brasileiro (Lei nº 9985, de 18 de julho de 2000)

A tipologia unidades de conservação está subdividida em 12 categorias de Áreas Protegidas. Elas foram instituídas pela Lei nº 9985, de 18 de julho de 2000, que criou o Sistema de Unidades de Conservação do Brasil (SNUC) (MEDEIROS; GARAY, 2006). Além disso, as UCs contam com as designações do decreto nº 4.340 sobre as Unidades de Conservação, regulamentado no ano de 2002 (BRASIL, 2002).

O art. 4º do SNUC dispõe dos objetivos da criação de tal Sistema: proteger elementos relevantes para a conservação da biodiversidade brasileira; promover o desenvolvimento sustentável através da utilização de práticas de conservação; proteger paisagens naturais pouco alteradas e de beleza cênica; proteger características relevantes de natureza geológica, geomorfológica, espeleológica, arqueológica, paleontológica e cultural; proteger recursos hídricos e edáficos; recuperar áreas degradadas; incentivar a pesquisa científica e os estudos voltados para educação ambiental; valorizar econômica e socialmente a diversidade biológica; favorecer condições para a recreação ligada ao turismo ecológico e proteger recursos naturais necessários à sobrevivência de populações tradicionais (BRASIL, 2002).

Nessa perspectiva, segundo o art. 2º, inciso I, do SNUC, as unidades de conservação consistem em:

Espaço territorial e seus recursos ambientais, incluindo as águas jurisdicionais, com características naturais relevantes, legalmente instituído pelo Poder Público, com objetivos de conservação e limites definidos, sob regime especial de administração, ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção (BRASIL, 2000).

Embora tenha sido oficializado em 2000, o início da elaboração do SNUC data do ano de 1979, período em que o Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF) e a Fundação Brasileira para a Conservação da Natureza apresentaram o “Plano do Sistema de Unidades de Conservação no Brasil”. Apenas em 1982 o documento foi revisado com vistas à identificação das áreas de maior relevância para a conservação da natureza e proposição da criação das áreas protegidas, mas não foi aceito (MEDEIROS; GARAY, 2006).

² Texto retirado do livro, oriundo da dissertação, da autora desta tese, com sutis modificações.

Em meio a não implementação da proposta apresentada, em 1988 o IBDF solicitou à Fundação Pró-Natura (FUNATURA), organização não governamental, um novo estudo voltado para as modalidades de proteção já existentes e um anteprojeto de lei instituindo um Sistema Nacional de Unidades de Conservação (MEDEIROS, 2006). Passado um ano, a proposta que previa a criação de Unidades de Conservação em nove categorias diferentes subdivididas em três grupos foi entregue ao IBAMA. No ano de 1992, esta foi apresentada ao presidente da época, Fernando Collor de Mello, quem encaminhou o documento como projeto de lei nº 2892/92 ao Congresso Nacional. Depois de inúmeros debates, através do apoio da Casa Civil da Presidência da República, o documento foi aprovado em 18 de julho de 2000, dispondo de 12 categorias de unidades de conservação divididas em dois grupos: Unidades de Proteção Integral e Unidades de Uso Sustentável (Quadro 2.3) (MEDEIROS, 2006).

As Unidades de Proteção Integral têm como objetivo básico a preservação da natureza. Elas permitem o uso indireto dos recursos naturais de acordo com os fins previstos em lei e dispõem de particularidades para cada categoria (BRASIL, 2000). As Unidades de Uso Sustentável visam compatibilizar a conservação da natureza aliada ao uso sustentável dos recursos (BRASIL, 2000).

Quadro 2.3: Descrição geral das Unidades de Conservação brasileiras de Uso Integral e Sustentável.

Unidades de Conservação de Proteção Integral				
Categorias	Objetivos	Posse e domínio	Proibições de usos	Permissões de uso
Estação Ecológica	Preservação da natureza e a realização de pesquisas científicas.	Público (prevê desapropriação de áreas particulares).	Visitação pública	- Exceção: visitação pública com objetivo educacional; - Pesquisa científica desde que cumpra as restrições estabelecidas em documentos e seja autorizada pelo órgão gestor da unidade.
Reserva Biológica	Preservação integral da biota e demais atributos naturais existentes em seus limites.	Público (prevê desapropriação de áreas particulares).	Visitação pública	- Exceção: visitação pública com objetivo educacional; - Pesquisa científica desde que cumpra as restrições estabelecidas em documentos e seja autorizada pelo órgão gestor da unidade.
Parque Nacional ³	Preservação de ecossistemas naturais de grande relevância ecológica e beleza cênica.	Público (prevê desapropriação de áreas particulares).	Visitação pública	- Visitação pública sujeita às normas e restrições estabelecidas no Plano de Manejo da unidade, às normas estabelecidas pelo órgão responsável por sua administração, e àquelas previstas em regulamento; - Pesquisa científica desde que cumpra as restrições estabelecidas em documentos e seja autorizada pelo órgão gestor da unidade.
Monumento Natural	Preservar sítios naturais raros, singulares ou de grande beleza cênica.	Constituído por áreas particulares, desde que seja possível compatibilizar os objetivos da unidade com a utilização da terra e dos recursos naturais do local pelos proprietários (prevê desapropriação).	Visitação pública	Visitação pública com restrições estabelecidas por documentos e gestores da unidade.
Refúgio de Vida Silvestre	Proteger ambientes naturais onde se asseguram condições para a existência ou reprodução de espécies ou comunidades da flora local e da fauna residente ou migratória.	Constituído por áreas particulares, desde que seja possível compatibilizar os objetivos da unidade com a utilização da terra e dos recursos naturais do local pelos proprietários (prevê desapropriação).	Visitação pública	- Visitação pública sujeita às normas e restrições estabelecidas no Plano de Manejo da unidade, às normas estabelecidas pelo órgão responsável por sua administração, e àquelas previstas em regulamento; - Pesquisa científica desde que cumpra as restrições estabelecidas em documentos e seja autorizada pelo órgão gestor da unidade.

³ Quando criado pelo Estado ou Município, será denominado, respectivamente, Parque Estadual e Parque Natural Municipal.

Unidades de Conservação de Uso Sustentável				
Categorias	Objetivos	Posse e domínio	Proibições de usos	Permissões de uso
Área de Proteção Ambiental	Proteger a diversidade biológica, disciplinar o processo de ocupação e assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais.	Terras públicas ou privadas.	Não especificado pela lei.	- Nas áreas sob propriedade privada, cabe ao proprietário estabelecer as condições para pesquisa e visitação pelo público, observadas as exigências e restrições legais; - As condições para a realização de pesquisa científica e visitação pública nas áreas sob domínio público serão estabelecidas pelo órgão gestor da unidade.
Área de Relevante Interesse Ecológico	Manter os ecossistemas naturais de importância regional ou local e regular o uso admissível dessas áreas, de modo a compatibilizá-lo com os objetivos de conservação da natureza.	Terras públicas ou privadas.	Não especificado pela lei.	Prevê visitação; Respeitadas normas e restrições prevê a utilização de uma propriedade privada.
Floresta Nacional	O uso múltiplo sustentável dos recursos florestais e a pesquisa científica, com ênfase em métodos para exploração sustentável de florestas nativas.	Público (prevê desapropriação de áreas particulares).	Não especificado pela lei.	- Admitida a permanência de populações tradicionais que a habitam quando de sua criação, em conformidade com o disposto em regulamento e no Plano de Manejo da unidade; - Visitação pública; - Pesquisa científica incentivada e sujeita à autorização do órgão gestor da unidade e outras restrições legais da unidade.
Reserva Extrativista	Proteger os meios de vida e a cultura das populações extrativistas tradicionais, e assegurar o uso sustentável dos recursos naturais da unidade.	Público (prevê desapropriação de áreas particulares), com uso concedido às populações extrativistas tradicionais conforme o disposto no art. 23 do SNUC ⁴ .	A exploração de recursos minerais e a caça amadorística ou profissional.	- Visitação pública; - Pesquisa científica incentivada e sujeita à autorização do órgão gestor da unidade e outras restrições legais da unidade.

⁴ Art. 23. A posse e o uso das áreas ocupadas pelas populações tradicionais nas Reservas Extrativistas e Reservas de Desenvolvimento Sustentável serão regulados por contrato, conforme se dispuser no regulamento desta Lei.

§ 1º As populações de que trata este artigo obrigam-se a participar da preservação, recuperação, defesa e manutenção da unidade de conservação.

§ 2º O uso dos recursos naturais pelas populações de que trata este artigo obedecerá às seguintes normas:

I - proibição do uso de espécies localmente ameaçadas de extinção ou de práticas que danifiquem os seus habitats;

Unidades de Conservação de Uso Sustentável				
Categorias	Objetivos	Posse e domínio	Proibições de usos	Permissões de uso
Reserva de Fauna	Manejo econômico e sustentável dos recursos faunísticos.	Público (prevê desapropriação de áreas particulares).	O exercício da caça amadorística ou profissional.	Visitação pública sujeita às normas e restrições estabelecidas no Plano de Manejo da unidade, às normas estabelecidas pelo órgão responsável por sua administração, e àquelas previstas em regulamento.
Reserva de Desenvolvimento Sustentável	Preservar a natureza e, ao mesmo tempo, assegurar as condições e os meios necessários para a reprodução e a melhoria dos modos e da qualidade de vida e exploração dos recursos naturais das populações tradicionais, bem como valorizar, conservar e aperfeiçoar o conhecimento e as técnicas de manejo do ambiente, desenvolvido por estas populações.	Público (prevê desapropriação de áreas particulares) ⁵ .	Não especificado pela lei.	<ul style="list-style-type: none"> - É permitida e incentivada a visitação pública, desde que compatível com os interesses locais e de acordo com o disposto no Plano de Manejo da área; - Pesquisa científica incentivada e sujeita à autorização do órgão gestor da unidade e outras restrições legais da unidade; - Deve ser sempre considerado o equilíbrio dinâmico entre o tamanho da população e a conservação; e - É admitida a exploração de componentes dos ecossistemas naturais em regime de manejo sustentável e a substituição da cobertura vegetal por espécies cultiváveis, desde que sujeitas ao zoneamento, às limitações legais e ao Plano de Manejo da área.
Reserva Particular do Patrimônio Natural	Conservar a diversidade biológica	Privado.	Não especificado pela lei.	<ul style="list-style-type: none"> - A pesquisa científica; - A visitação com objetivos turísticos, recreativos e educacionais.

Fonte: Elaborado por Sindiany Santos, a partir do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (BRASIL, 2000).

II - proibição de práticas ou atividades que impeçam a regeneração natural dos ecossistemas;

III - demais normas estabelecidas na legislação, no Plano de Manejo da unidade de conservação e no contrato de concessão de direito real de uso.

⁵ Rever nota de rodapé anterior a esta, que trata do Art. 23 da Lei das Unidades de Conservação brasileiras.

A necessidade de criação e manutenção das unidades de conservação está expressa no art. 225, § 1º, inciso III da Constituição da República Federativa do Brasil de 1988, que diz que compete ao poder público:

definir, em todas as unidades da Federação, espaços territoriais e seus componentes a serem especialmente protegidos, sendo a alteração e a supressão permitidas somente através de lei, vedada qualquer utilização que comprometa a integridade dos atributos que justifiquem sua proteção (BRASIL, 1988).

Além disso, o capítulo II, art. 23, inciso VI e VII da Constituição, atesta ser de competência dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios a proteção da diversidade biológica por meio da criação e manutenção de unidades de conservação (BRASIL, 1988).

No âmbito da legislação, o art. 24, inciso VI da Constituição, garante à União, aos Estados e ao Distrito Federal competência para legislar concorrentemente sobre florestas, caça, pesca, fauna, conservação da natureza, defesa do solo e dos recursos naturais, proteção do meio ambiente e controle de poluição (BRASIL, 1988).

Portanto, a criação e a manutenção de Unidades de Conservação é uma atribuição dirigida a todos os níveis do poder público: União, Estados, Distrito Federal e Municípios (BRASÍLIA, 1999).

O art. 6º, do SNUC, afirma que tal Sistema deve ser gerido pelos seguintes órgãos: órgão consultivo e deliberativo, representados pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA); órgão central, que corresponde ao Ministério do Meio Ambiente, o qual coordena o Sistema; órgãos executores, dos quais fazem parte o ICMBio, o IBAMA, em caráter supletivo; e órgãos estaduais e municipais, que têm as funções de implementar o SNUC e subsidiar propostas de criação e administração de unidades em níveis federal, estadual e municipal (BRASIL, 2000).

O capítulo IV, art. 22º, § 2º, do SNUC, dispõe que a criação de uma UC deve ser precedida de estudos técnicos e de consulta pública. Elas devem permitir a identificação do local, a dimensão e os limites adequados para a criação da UC, de acordo com o regulamento (BRASIL, 2000).

As UCs também devem dispor de um plano de manejo. O § 1º, do art. 27, do SNUC, afirma que o plano de manejo deve abranger a área da UC, a zona de amortecimento e corredores ecológicos, quando criados. Além disso, inclui medidas que

visam promover a integração da vida econômica e social de comunidades vizinhas. O § 4º, do mesmo artigo, afirma que este plano de manejo deve ser elaborado no prazo de até cinco anos após a data de criação da UC (BRASIL, 2000).

Todavia, é relevante salientar que o art. 25 desta lei afirma que as Áreas de Proteção Ambiental (APAs) e as Reservas Particulares do Patrimônio Natural não possuem zona de amortecimento e nem corredores ecológicos. Esta assertiva pode ser uma importante aliada na fragilidade dos ambientes que estão localizados no interior das APAs, principalmente, uma vez que, as lacunas problemáticas da fiscalização em UCs de posse e domínio públicos, são ampliadas em relação às UCs de uso privado, como é o caso das RPPNs.

Nessa lógica, é relevante avaliar a atuação das UCs em escala local, do ponto de vista da efetividade da proteção dos ambientes. Considerando o objeto de investigação científica desta pesquisa, foi averiguado, de acordo com dados da literatura e observações da autora, de que modo os manguezais sergipanos estão inseridos nas Unidades de Conservação em Sergipe e como elas têm atuado enquanto objetos legais de proteção da natureza.

2.5.1 Unidades De Conservação De Sergipe: Um olhar sobre as Ucs que abrigam o ecossistema de manguezal no estado

Consoante o disposto na legislação do SNUC, Sergipe conta com 18 Unidades de Conservação criadas, mas nem todas estão implementadas. O quadro 2.4 revela como as UCs de Sergipe estão organizadas de acordo com as Unidades de Uso Sustentável e de Uso Integral.

Quadro 2.4: Descrição geral das Unidades de Conservação sergipanas de Uso Integral e Sustentável.

Unidades de Conservação de Proteção Integral do Estado de Sergipe					
Unidade	Administração	Área	Lei/decreto	Localização	Domínio
Parque Nacional Serra de Itabaiana	Federal	7.966ha	Decreto nº 15/06/2005	Areia Branca, Itabaiana, Laranjeiras, Itaporanga D'Ajuda e Campo do Brito	Mata Atlântica
Reserva Biológica Santa Isabel*	Federal	2.766ha	Decreto nº 96.999 20/10/1998	Pirambu e Pacatuba	Mata Atlântica
Parque Natural Municipal de Lagoa do Frio	Municipal	278,99ha	Decreto nº 041 23/10/2001	Canindé de São Francisco	Caatinga
Parque Ecológico de Tramandaí*	Municipal	3,6ha	Decreto Municipal nº 112 13/11/1996	Aracaju	Manguezal
Monumento Natural da Grota do Angico	Estadual	2,183ha	Decreto nº 24.922 21/12/2007	Poço Redondo, Canindé do São Francisco	Caatinga
Refúgio da Vida Silvestre Mata do Junco	Estadual	766ha	Decreto nº 24.944 26/12/2007	Capela	Mata Atlântica
Unidades de Conservação de Uso Sustentável do Estado de Sergipe					
Unidade	Administração	Área	Lei/decreto	Localização	Domínio
Floresta Nacional do Ibura*	Federal	144,017ha	Decreto DSN de 19/09/2005	Nossa Senhora do Socorro	Mata Atlântica
APA do Morro do Urubu	Estadual	213,872ha	Decreto nº 13.713 de 14/06/1993	Aracaju	Mata Atlântica
APA do Litoral Norte*	Estadual	413,12km2	Decreto nº 22.995 de 09/11/2004	Pirambu, Japoatão, Pacatuba, Ilha das Flores, Brejo Grande	Mata Atlântica
APA do Litoral Sul*	Estadual	55,5km/10 a 12km do litoral para o interior	Decreto nº 13.468 de 22/01/1993	Itaporanga D'Ajuda, Estância, Santa Luzia do Itanhhy, Indiaroba	Mata Atlântica
APA da Foz do Rio Vaza-Barris – Ilha do Paraíso e da Paz*	Estadual	Sem delimitação territorial	Lei nº 2795 de 30/03/1990	Itaporanga D'Ajuda	Mata Atlântica
APA do Rio Sergipe*	Estadual	Sem delimitação territorial	Lei nº 2825 de 23/07/1990	Aracaju, Barra dos Coqueiros	Mata Atlântica
RPPN Fonte da Bica	Particular	13,72ha	Portaria nº 99-N do IBAMA de 14/09/1999	Areia Branca	Mata Atlântica

Unidades de Conservação de Uso Sustentável do Estado de Sergipe					
Unidade	Administração	Área	Lei/decreto	Localização	Domínio
RPPN Bom Jardim (Mata 1) e Tapera (Mata 2, 3 e 4)	Particular	297,05ha	Portaria n° 102 do IBAMA 2006	Santa Luzia do Itanhy	Mata Atlântica
RPPN Marinheiro (Mata 1 e 2) e Pedra da Urça (Mata 3)	Particular	174,26ha	Portaria n° 4 do IBAMA de 10/01/2007	Santa Luzia do Itanhy	Mata Atlântica
RPPN de Lagoa Encantada do Morro da Lucrécia	Particular	10,75ha	Portaria ICMBio 2010	Pirambu	Mata Atlântica
RPPN Dona Benta e seu Caboclo	Particular	23,60ha	Portaria n° 71 do ICMBio de 27/08/2010	Pirambu	Mata Atlântica
RPPN do Caju	Particular	763,37 ha	Portaria n° 4 do ICMBio de 17/01/2011	Itaporanga D'Ajuda	Mata Atlântica
RPPN Pirangy	Particular	13,59 ha	Portaria n° 135 do ICMBio de 18/12/2012	Itabaianinha	Mata Atlântica
RPPN Campos Novos	Particular	102,77 ha	Portaria n° 3 do ICMBio de 24/01/2014	Carira	Caatinga

* Áreas destacadas por abrigarem faixas de manguezal.

Fonte: SILVA (2012) e FEITOSA (2015)

Ainda que existam dez (10) UCs detentoras de manguezais em Sergipe, como mostra o quadro 2.4, serão abordadas apenas as Unidades de Proteção Integral e de Uso Sustentável de posse e domínio públicos.

A Reserva Biológica Santa Isabel e o Parque Ecológico Tramandaí são as duas Unidades de Conservação sergipanas classificadas como de Uso Integral.

Segundo o decreto Decreto nº 96.999 20/10/1998 que trata da criação da Reserva Biológica de Santa Isabel, esta UC foi criada em Sergipe, entre os municípios de Pirambu e Pacatuba, especialmente com o propósito de proteção da fauna local, principalmente das tartarugas marinhas encontradas na praia de Santa Isabel, que utilizam a área para reprodução e está sob o gerenciamento do ICMBio.

A Reserva de 2.766 hectares abrange terrenos de marinha e acrescidos (BRASÍLIA, 1988), o que inclui os manguezais presentes na faixa de proteção entre os municípios de Pirambu e Pacatuba. Apesar de tratar-se de uma UC de proteção integral, a região enfrenta problemáticas que afetam até mesmo a conservação dos ecossistemas. São 45Km de extensão com notáveis áreas cobertas por restingas, as quais estão associadas aos manguezais não fiscalizados e degradados da zona de amortecimento (GOMES et al., 2006).

Consoante o SNUC, a zona de amortecimento corresponde ao entorno da unidade de conservação, onde as ações humanas encontram-se restritas às normas e restrições específicas, pois o maior objetivo é minimizar os impactos que interferem na UC (BRASIL, 2000). Em outras palavras, as atividades antrópicas realizadas na zona de amortecimento não devem prejudicar o objetivo da conservação (DIOS; MARÇAL, 2009).

Apesar da clareza expressa no SNUC, a Rebio apresenta sua zona de amortecimento com indícios de degradação. Consoante Melo et al. (2013) pode-se observar a paisagem descaracterizada, em meio ao uso e ocupação desordenados, além de outras ações antropogênicas que incluem evidência de lixo, queimadas, extração de areia e retirada da vegetação. Estes elementos antrópicos comprometem fortemente o equilíbrio ecossistêmico dos sistemas costeiros ambientais locais e põe em questão a não efetividade da fiscalização ambiental na zona de amortecimento da Rebio.

Quanto ao Parque Ecológico Tramandaí, a área de manguezal a ela pertencente está situada na zona sul, urbana e nobre da capital, denominada bairro Jardins. O parque

ecológico foi criado antes mesmo do surgimento do bairro, entretanto, a medida não foi suficiente para deter o processo de degradação do ecossistema da região. Desde o surgimento de grupos econômicos interessados em transformar a área em *shopping*, condomínios de luxo e posto de combustível, como o foi feito, os manguezais, salinas e alagados deram lugar às mencionadas construções que abriram espaço para a contínua degradação da região. O antigo riacho Tramandaí que passava pela região, hoje na verdade constitui um canal a céu aberto que lança os dejetos sem tratamento prévio sobre a área de manguezal. Inúmeras espécies invasoras de flora habitam o local, enquanto o que resta de *L. racemosa* e *R. mangle* sofre com o distúrbio crônico imposto pelos impactos negativos das ações humanas. Esta realidade aponta a ineficácia da Área de Proteção Integral referida, na área urbana e revela mais uma das problemáticas da falta de gerenciamento das áreas de manguezal ditas como protegidas.

No que se refere às faixas de manguezal de Sergipe protegidas por Unidades de Conservação de Uso Sustentável, destacam-se: a Floresta Nacional do Ibura e as Áreas de Proteção Ambiental da APA do Litoral Norte, APA do Rio Sergipe, APA da Foz do Rio Vaza-Barris e APA do Litoral Sul.

Segundo o Art 1º do decreto DSN de 19/09/2005, que trata a respeito da Flonai, esta foi criada com os objetivos de:

promover o uso múltiplo sustentável dos recursos florestais, a manutenção de banco de germoplasma in situ de espécies florestais nativas, inclusive do bioma Mata Atlântica com formações de floresta estacional semidecidual nos estágios médio e avançado de regeneração, em associação com manguezal, a manutenção e a proteção dos recursos florestais e da biodiversidade, a recuperação de áreas degradadas e a pesquisa científica (BRASÍLIA, 2005).

Esta UC localiza-se na Rodovia BR-101-km 85, no Povoado Estiva, em Nossa Senhora do Socorro, ao norte limita-se com o manguezal do Rio Cotinguiba, ao sul com a Ferrovia Centro Atlântica S/A e com propriedade da Prefeitura Municipal de Nossa Senhora do Socorro. Ao leste está limitada com a faixa de domínio da Rodovia BR-101, do Departamento Nacional de Estradas e Rodagens-DNER, e ao oeste, com propriedades particulares (SILVA, 2012).

A Flonai é responsável por abrigar o remanescente florestal que mantém características biofísicas e socioambientais relevantes para o estado de Sergipe, dentre eles o aquífero Sapucari, que favorece a captação da água para uso da sociedade que

depende da região para sobrevivência (SILVA, 2012). A população da Grande Aracaju (7%) e do povoado Estiva, na cidade de Nossa Senhora do Socorro, dependem da captação da água realizada pela Companhia de Saneamento de Sergipe (DESO), mas a escassez de água mostra que se deve ficar alerta, pois os poços de captação já não são os e apenas dois estão funcionando, complementou a autora.

Um dos grandes entraves desta UC, assim como nas outras áreas protegidas de Sergipe, encontra-se nos impactos antropogênicos das adjacências da Flonai. No seu entorno residem populações dos povoados Estiva, Tabocas e Porto Grande, além disso observa-se o Gasoduto da Petrobrás, estação de tratamento de esgoto, canaviais, fábricas de cimento, tecelagem e indústria de fertilizantes nitrogenados (SILVA, 2012).

Diante deste cenário, é impossível não refletir acerca dos impactos gerados ao ecossistema de Mata Atlântica, incluindo os manguezais, sofridos direta e indiretamente pelas formas de tensão causadas por fatores que geram um quadro de distúrbio crônico na UC sustentável.

Sobre a categoria Área de Proteção Ambiental, A APA do Litoral Norte foi criada com o objetivo de promover o desenvolvimento socioeconômico dos municípios que constituem esta APA (Quadro 2.4), voltado para as atividades que protegem e conservam os ecossistemas ou processos fundamentais à biodiversidade, à manutenção dos atributos ecológicos, bem como à melhoria de vida da população submetida as condições legais impostas pela APA (SERGIPE, 2004).

Segundo o parágrafo único do decreto nº 22.995, os objetivos específicos da criação da APA consistiram em:

- I. dos ecossistemas estuarinos, dunares e de áreas úmidas, bem conservados e monitorados;
- II. da atividade pesqueira desenvolvida de forma sustentável;
- III. da comunidade ambientalmente conscientizada;
- IV. da proteção e recuperação da Mata Atlântica e de seus ecossistemas associados;
- V. da disponibilidade e qualidade dos recursos hídricos subterrâneos e superficiais;
- VI. da diversificação das atividades econômicas e sociais, voltadas especialmente para o turismo ecológico;
- VII. do desenvolvimento sustentável da área (SERGIPE, 2004).

De acordo com a Lei nº 2825 de 23/07/1990, a APA do Rio Sergipe foi criada como área de especial proteção ambiental para todo o trecho do rio Sergipe, que serve de divisa entre os municípios de Aracaju e Barra dos Coqueiros. Nesta área de domínio de Mata Atlântica também é possível encontrar manguezais que necessitam de maior atenção. Desde a criação da APA até os dias atuais, a região não deixou de ser alvo de impactos ambientais, sendo um deles a ponte “Construtor João Alves”, que liga a cidade de Aracaju ao município de Barra dos Coqueiros, construída no ano de 2006.

Quanto à APA da Foz do Rio Vaza Barris, esta abrange a ilha localizada na foz do rio que leva o nome da APA, denominada Ilha do Paraíso e a foz do rio Santa Maria, situada em frente ao povoado Mosqueiro, chamada Ilha da Paz. De acordo com a Lei nº 2.795 de 30 de março de 1990, devem ser vedadas:

- I. A instalação de qualquer obra de natureza permanente, tais como edificações, cercas ou muros;
- II. Qualquer utilização que impliquem modificação das características geomorfológicas ou de sua gênese, bem como de sua cobertura vegetal nativa (SERGIPE, 1990).

Todavia, tanto a APA do Rio Sergipe, como a APA do Rio Vaza Barris, pelos conflitos da sua criação, a exemplo da inexistência de memorial descritivo, da ausência de consulta pública e da nomenclatura distinta daquelas indicadas pelas categorias do SNUC, estão em fase de recategorização. Já a APA do Litoral Norte está aguardando regulamentação (SILVA, 2012).

Considerando o desenvolvimento econômico-social da área do litoral decorrente da implantação da Rodovia SE/100 – SUL, bem como o patrimônio natural formado pelos ecossistemas de manguezais, áreas estuarinas, dunas, restingas, lagoas e outras fitofisionomias de valor paisagístico, o governo do estado de Sergipe criou no ano de 1993, a Área de Proteção Ambiental do Litoral Sul de Sergipe (SERGIPE, 1993). A APA, está limitada ao sul pela margem esquerda do Rio Real, no limite com o estado da Bahia, ao norte pela margem direita do Rio Vaza-Barris, ao leste pelo Oceano Atlântico e ao oeste por uma linha distante 10Km dos pontos de preamar média de 1831, consoante o decreto supracitado.

Todavia, a APA só foi implementada no ano de 2009, quando a Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMARH) definiu os contornos da Área de Proteção Ambiental. Isso indica que durante 16 anos de intervalo entre a criação e

implementação a APA foi marcada pelo desenvolvimento de atividades econômicas de forma desenfreada, tanto na parte interna das Unidades de Conservação Sustentável, como no entorno das UCs (SILVA; MELO e SOUZA, 2010). Ademais, segundo a autora, os quase 20 anos de não implementação implicou na ampliação de conflitos territoriais que giram em torno da posse das paisagens exibidas pelas praias mais atrativas do litoral sergipano, como é o caso das praias da Caueira, no município de Itaporanga D' Ajuda, do Abaís e do Saco, da cidade de Estância.

A APA do litoral sul abriga os manguezais presentes na bacia mais produtiva do estado (SERGIPE, 1984), por onde passam os rios formadores do Complexo estuarino Real-Piauí-Fundo, no limite dos estados de Sergipe e Bahia.

De maneira incomum, todas as UCs, tanto de proteção integral, como de uso sustentável, sofrem com distúrbio crônico em decorrência de impactos negativos. No caso das APAs, Silva (2012) afirmou que os maiores problemas estão associados ao desmatamento relacionado ao desenvolvimento de atividades ligadas à agropecuária e ao turismo. As APAs do litoral norte e sul do estado merecem destaque quanto à intervenção do turismo não sustentável relacionado à especulação imobiliária. Consequentemente, complementou a autora, comunidades pesqueiras sofrem com a perda das áreas de sobrevivência e da biodiversidade de que dependem para sobreviver.

Além disso, outra problemática é relativa ao fato de nenhuma das UCs que abrigam manguezal dispor de plano de manejo. Este fator, em meio à gestão desorganizada da unidade, que contribui com as falhas da política de fiscalização, amplia os riscos de degradação dos manguezais, diante da atuação de distintos tensores antropogênicos que colocam em risco diversos processos biológicos, com destaque para a cunicultura e o turismo aliado à especulação imobiliária.

Todavia, não se deve chegar ao estudo das pressões antropogênicas sem averiguar os fatores naturais e ecológicos que influenciam na configuração distributiva dos mangues. Por esta razão, se fez necessário compreender no próximo capítulo o comportamento da distribuição potencial dos mangues diante da atuação de parâmetros ambientais, os quais variam no grau de interferência em função dos processos históricos e ecológicos da Terra.

REFERÊNCIAS

ALONGI, D.M. Present state of future and the world's mangrove forests. **Environ. Conserv.** v.3. n°3. p. 331-349. September, 2002.

BERTALANFFY, L VON. **Teoria Geral dos Sistemas: fundamentos, desenvolvimento e aplicações.** Tradução de Francisco M. Guimarães. ed 8. Petrópolis, Rj: Vozes, 2015.

BURCHETT, M.D. et al. Growth and respiration in two mangrove species at a range of salinities. **Physiol. Plant.** v. 75. p. 299–303.1989.

BRASIL, Lei n° 4.771, de 15 de setembro de 1965. Revogada pela Lei n° 12.651, de 25 de maio de 2012. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L4771.htm>. Acesso em: 05 de jan de 2013.

BRASIL, art. 225. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constitui%C3%A7ao.htm>. Acesso em: 20 set. 2010.

BRASIL, Portal Brasil. **Brasil cria maior faixa protegida de manguezais do mundo.** 2015a. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2015/01/brasil-cria-maior-faixa-protegida-de-manguezais-do-mundo>>. Acesso em: 06 de maio de 2015.

BRASIL. 1965. Lei n° 4.771, de 15 de setembro de 1965. Revogada pela Lei n° 12.651, de 2012. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L4771.htm>. Acesso em 20 de mar de 2014.

BRASIL. **Convenção de RAMSAR - sobre Zonas Úmidas de Importância Internacional, especialmente como Habitat de Aves Aquáticas.** 2015b. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/images/arquivos/biodiversidade/biodiversidade_aquatica/zonas_umidas/texto_convencao_ramsar.pdf>. Acesso em: 20 de nov de 2015.

BRASIL. Decreto 4. 340, de 22 de Agosto de 2002. Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC). Regulamenta artigos da Lei n° 9.985, de 18 de julho de 2000, que dispõe sobre o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza – SNUC, e dá outras providências. Brasília, 22 de Agosto de 2002. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2002/d4340.htm>. Acesso em 05 de maio de 2013.

BRASIL, lei n° 9.605, de 12 de fev. de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências.. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9605.htm> Acesso em 07 de ago. de 2012.

BRASIL. Decreto n° 96.999, de 20 de outubro de 1988. Cria, no litoral do Estado de Sergipe, a Reserva Biológica de Santa Isabel e dá outras providências 1988. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1988/decreto-96999-20-outubro-1988-448264-publicacaooriginal-1-pe.html>>. Acesso em: 5 de out de 2015.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Disponível em:

<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm> Acesso em: 05 de jan de 2013.

BRASIL. Lei nº 9.985, de 18 de Julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. **Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC)**. Brasília, jul. 2000. Disponível em: <

http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9985.htm> Acesso em: 05 de maio de 2013.

BRASÍLIA (Estado). Ministério do Meio Ambiente. In: GUEDES, F. B.; SEEHUSEN, S. E. (Org.). **Pagamentos por serviços ambientais na Mata Atlântica: lições aprendidas e desafios**. Brasília: MMA, 2012.

BRASÍLIA, **Orientações para criação de novas Unidades de Conservação**. Projeto Unidades de Conservação, 1999.

BRASÍLIA. **Decreto de 19 de setembro de 2005**. Dispõe sobre a execução do Vigésimo Sétimo Protocolo Adicional ao Acordo de Complementação Econômica no 39, entre os Governos da República Federativa do Brasil e da República do Peru, de 21 de março de 2005. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2005/Dnn/Dnn10637.htm>. Acesso em 05 de nov de 2015.

CANOTILHO, J. J. G.; MORATO LEITE, J. R. (Org.) **Direito Constitucional Ambiental Brasileiro**. São Paulo: Malheiros, 2007.

CHAPMAN, V.J. Mangrove biogeography. In: WALSH, G.; SNEDAKER, S.; TEAS, H. (Eds). **Proceedings of international symposium on biology and management of mangroves**. Gainesville, FL: Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. p. 3-22, 1975.

CINTRÓN, G. et al. Mangroves of arid environments in Puerto Rico and adjacent islands. **Biotropica**. v. 10, 110p., 1978.

CINTRÓN, G.; LUGO, A.E.; MARTINEZ, R. Structural and functional properties of mangrove forests. In: **Annals of the Symposium Signaling the Complexion of the Flora of Panama**. Panama, University of Panama. p. 53-67, 1980.

DIOS, C. B. de; MARÇAL, M. dos S. Legislação ambiental e a gestão de Unidades de Conservação: o caso do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba-Rj. In: GUERRA, A. J. T.; COELHO, M. C. N. (Orgs.). **Unidades de Conservação: abordagens e características geográficas**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009.

DOMINGUEZ, C.A. et al. Flower morphometry of *Rhizophora mangle* (Rhizophoraceae): Geographical variation in Mexican populations. **American Journal of Botany**. v.85, n.5, p. 637-643, 1998.

DUKE, N. C. Phenological trends with latitude in the mangrove tree *Avicennia marina*. **J. Ecol.** 78:113–133,1990.

DUKE, N. C.; MEYNECKE, J. O.; DITTMANN, S. et al. A World Without Mangroves **Science**. v. 317 n°, 5834. p. 41-42, 2007.

ELLISON, A.A. M.; FARNSWORTH, E. J.; MERKT, R. E. Origins of Mangrove Ecosystems and the Mangrove Biodiversity Anomaly. **Global Ecology and Biogeography**. v 8, p. 95-115,1999.

FEITOSA, R. O. Atlas digital como ferramenta para o planejamento ambiental de Unidades de Conservação de Proteção Integral de Sergipe. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão, 2015.

FELLER, C.E et al. Biocomplexity in Mangrove Ecosystems . **Annu. Rev. Marine. Sci.** v.2, p. 395-417, 2010

FELLER, I. C, CHAMBERLAIN, A.H. Herbivore responses to nutrient enrichment and landscape heterogeneity in a mangrove ecosystem. **Oecologia**. v.153, n. 3, p. 607-616. september 2007.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA. Fundação divulga novos dados sobre a situação da Mata Atlântica. Disponível em: <https://www.sosma.org.br/103045/fundacao-divulga-novos-dados-sobre-situacao-da-mata-atlantica/>. Acesso em 27 de maio de 2015.

GIANOLI, E.; VALLADARES, F. Studying phenotypic plasticity: the advantages of a broad approach. **Biological Journal of the Linnean Society**. 2012.

GIRI, C. et al. Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. **Global Ecology and Biogeography**. v. 54, p. 154-159, 2011.

GOMES, L. J.; SANTANA, V.; RIBEIRO, G. T. Unidades de Conservação no Estado de Sergipe. **Revista da Fapese**, v. 2, n. 1, p. 101-112, jan./jun. 2006.

GRATANI, L. Plant Phenotypic Plasticity in Response to Environmental Factors. **Advances in Botany**. v. 2014, 2014.

GUHA-SAPIR, D.; HOYOIS, P.; BELOW, R. Annual Disaster Statistical Review 2014 The numbers and trends. In: **Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED) Institute of Health and Society (IRSS)**. Université Catholique de Louvain – Brussels, Belgium. 2014.

HOFFMANN, A.A.; SGRO, C. M. Climate change and evolutionary adaptation. **Nature**. v. 470, p. 479–485, 2011.

INSTITUTO CHICO MENDES DE BIODIVERSIDADE. Portaria ICMBIO nº 09, de 29 de janeiro de 2015. **Plano de Ação Nacional para Conservação das Espécies Ameaçadas e de Importância Socioeconômica do Ecossistema Manguezal - PAN Manguezal**. Disponível em:

http://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Portaria/2015/p_icmbio_09_2015_aprova_pan_manguezais.pdf. Acesso em: 15 de nov. de 2015.

Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio). **Projeto Manguezais do Brasil**. Disponível em: <<http://www.icmbio.gov.br/portal/o-que-fazemos/programas-e-projetos/107-projeto-manguezais-do-brasil.html>>. Acesso em 24 de nov. 2015.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Climate Change 2007: the physical science basis. In: Solomon, S. et al. (Eds). **Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge, UK: IPCC, p. 1–996. 2007.

INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE (IUCN). **What is a protected area?** 2008. Disponível em: <http://www.iucn.org/about/work/programmes/gpap_home/pas_gpap/>. Acesso em: 20 de ago de 2015.

JIMÉNEZ, J.A.; SAUTER, K. Structure and dynamics of mangrove forests along a flooding gradient. **Estuaries**. v. 14(1). p.49-56. 1991.

LOVELOCK, C.E. et al. Variation in hydraulic conductivity of mangroves: influence of species, salinity, and nitrogen and phosphorus availability. **Physiol. Plantarum**. v.127, p.457– 464, 2006.

LUGO, A.E.; SNEDAKER, S.C. The ecology of mangroves. **Annual Review of Ecology and Systematic**. v.5. p. 39-64. 1974.

MEDEIROS, R. de J.; GARAY, I. Singularidades do sistema de áreas protegidas para a conservação e uso da biodiversidade brasileira. In: GARAY, I.; BECKER, B. K. **As Dimensões Humanas da Biodiversidade. O desafio de novas relações sociedade-natureza no século XXI**. Petrópolis: Editora Vozes, 2006.

MEDEIROS, R. Evolução das tipologias e categorias de áreas protegidas no Brasil. **Ambiente & Sociedade**. São Paulo, vol. IX, n. 1. jan./jun. 2006.

MEDEIROS, V. B. de; SUGUIO, K.; OLIVEIRA, P. E. de. Contribuição ao conhecimento da evolução dos manguezais brasileiros durante o Holoceno: novos dados para a costa do estado de São Paulo, Brasil. 2010. In: **Anais do Congresso da Abequa** Disponível em <http://tede.ung.br/bitstream/123456789/168/1/Vanda+Brito+de+Medeiros.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2015.

MELO, E. A. ANDRADE, A. B. de; SANTANA, M. C. de. A Proteção dos Recursos Naturais da Reserva Biológica Santa Isabel: O Papel das Populações locais. **Ambivalências** v. 01, n. 1, jan-jun, 2013.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. **Relatório-Síntese da Avaliação Eossistêmica do 4º Milênio**. 2005. Disponível em: <http://www.millenniumassessment.org/documents/document.446.aspx.pdf> Acesso em: 20 de ago de 2014.

NAIDOO, G. Differential effects of nitrogen and phosphorus enrichment on growth of dwarf *Avicennia marina* mangroves. **Aquat. Bot.** v.90. p.184–90. 2009.

NASCIMENTO, S. **Ecofisiologia do manguezal**. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos. Aracaju, Sergipe: Degrase, 2008.

NICOTRA, A.B. et al. Plant phenotypic plasticity in a changing climate. **Trends Plant Sci.** v. 15. p. 684–692. 2010.

NIEBUHR, P de M. Os limites da proteção jurídica dos manguezais. In: Cesar Pasold. (Org.). **Ensaio sobre meio ambiente e Direito Ambiental**. 1ed. Florianópolis: Insular, 2012.

ODUM, E.P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Ed. Guanabara Koogan. 1988.

PARMESAN, C.; YOHE, G. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. **Nature**. n. 421. p. 37–42. 2003

PASSENDA, L. C. R.; VIDOTTO, E.; OLIVEIRA, P. E. D. de. Late Quaternary vegetation and coastal environmental changes at Ilha do Cardoso mangrove, southeastern Brazil. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**. v. 363–364. 2012.

PEÑUELAS, J.; FILELLA, I. Responses to a warming world. **Science**. v.294. p.793–795. 2001

POLIDORO, B. A.; CARPENTER, K. E.; COLLINS, L. et al. The Loss of Species: Mangrove Extinction Risk and Geographic Areas of Global Concern. **PLoS ONE**. v 5. n. 4. 2010.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE (PNUMA). **Destruição de manguezais é até cinco vezes maior que das florestas**. 2014. Disponível em <<http://web.unep.org/destrui%C3%A7%C3%A3o-de-manguezais-%C3%A9-at%C3%A9-cinco-vezes-maior-que-das-florestas>>. Acesso em 20 de nov. 2015.

PYYKKO, M. Morphology and anatomy of leaves from some woody plants in a humid tropical forest of Venezuelan Guayana. **Acta Botanica Fennica**. v. 112. p. 1-41. 1979.

RAHU, A. das S.; BANERJEE, K.; MITRA, A. Climate change impacts on India Sunderbans: a time series analysis (1924-2008). **Biodiver Conser.** v. 21. p.1289-1307. 2012.

REIS, M. J. L.; DIAS, G. B. N.; VEM, P. H. L. V.; A Companhia Vale do Rio Doce e a implementação do artigo 8º da Convenção sobre Diversidade Biológica. In: BENSUSAN, N. et al. (Orgs) **Biodiversidade: para comer, vestir, ou passar no cabelo? Para Mudar o Mundo**. São Paulo: Petrópolis, 2006.

RICKLEFS, R.E. **A economia da natureza**. ed. 5. Editora Guanabara Koogan: Rio de Janeiro, 2003.

ROBERTSON, A.I.; PHILLIPS, M. J. Mangroves as filters of shrimp pond effluent: predictions and biogeochemical research needs. **Hydrobiologia**. v.295. p. 311-321. 1995

SAENGER, P.; HEGERL, E.J.; DAVIE, J.D.S. Global status of mangrove ecosystems. **Environmentalist**. v. 3, n. 3. p. 7-80. 1983.

SAHU, S. C. et al. Mangrove Area Assessment in India: Implications of Loss of Mangroves. **J Earth Sci Clim Change**. v. 6. p.280. 2015.

SANTOS L.C.M, et al. Anthropogenic activities on mangrove areas (São Francisco River Estuary, Brazil Northeast): a GIS-based analysis of CBERS and SPOT images to aid in local management. **Ocean & Coastal Management**.v. 89.p. 39–50. june, 2014.

SANTOS, S. S. C. dos; MELO E SOUZA, R. Caracterização Dos Principais Tensores Antropogênicos Nas Áreas De Manguezal Do Litoral Sul De Sergipe. In: GOUVEIA, L. C. de A. LAGO, J. da S. do. (Orgs) **Saberes multidisciplinares**. v.5. p. 135 – 153. 2015.

SANTOS, S. S. C. dos. **Conservar o quê? Para quem? Áreas Protegidas e Protagonistas da Conservação**. Curitiba: Appris. 2015.

SCAVIA D et al. Climate change impacts on U.S. coastal and marine ecosystems. **Estuaries**. v.25p. 149-164. 2002.

SCHAEFFER- NOVELLI, Y. (coord.). Manguezal: Ecosystema entre a Terra e o Mar. São Paulo: **Caribbean Ecological Research**. 1995.

SCHAEFFER- NOVELLI, Y. (coord.). Manguezal: Ecosystema entre a Terra e o Mar. São Paulo: **Caribbean Ecological Research**. 1995.

SCHAEFFER-NOVELL, Y. et al. Variability of mangrove ecosystem along the brazilian coast. **Estuaries**. v. 13, nº 2. p. 204-218. 1990.

SCHAEFFER-NOVELLI et al. Brazilian mangroves. **Aquatic Ecosystem Health and Management**. v.3. p.561-570. 2000.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; CINTRÓN-MOLERO, G.; SOARES, M.L. & DE-ROSA, M.T. Brazilian mangroves. **Aquatic Ecosystem Health and Management**. v.3: p. 561-570. 2000

SERGIPE (Estado). Administração Estadual do Meio Ambiente (ADEMA). **Levantamento da flora e caracterização dos bosques de mangue do Estado de Sergipe**. Sergipe, 1984.

SERGIPE, 1990. Lei nº 2.795 de 30 de março de 1990. Define áreas de proteção ambiental da foz do Rio Vaza-Barris, e dá outras providências. Disponível em: http://www.al.se.gov.br/Detalhe_Lei_Imprimir.asp?Numerolei=17. Acesso em: 20 de out de 2015.

SERGIPE, 1993. Decreto n.º 13.468 de 21 de janeiro de 1993. Institui a Área de Proteção Ambiental do Litoral Sul do Estado de Sergipe. Disponível em: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:1co3emQnWnYJ:www.semarnh>

.se.gov.br/modules/wfdownloads/visit.php%3Fcid%3D1%26lid%3D27+&cd=1&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br. Acesso em 20 de out de 2015.

SERGIPE, 2004. Decreto n° 22.995 de 09 de novembro de 2004. Declara como Área de Proteção Ambiental (APA), região situada nos Municípios de Pirambu, Japoatã, Pacatuba, Ilha das Flores e Brejo Grande, e dá outras providências correlatas.

Disponível em:

<http://www.semharh.se.gov.br/biodiversidade/modules/wfdownloads/visit.php?cid=1&lid=22>. Acesso em: 20 de out de 2015.

SERGIPE. Decreto n.º 13.468 de 21 de janeiro de 1993. Institui a Área de Proteção Ambiental do Litoral Sul do Estado de Sergipe. Disponível em:

<http://www.semharh.se.gov.br/modules/wfdownloads/visit.php?cid=1&lid=27>. Acesso em: 20 de out de 2015.

SHEARMAN, P.; BRYAN, J. WALSH, J. P. Trends in deltaic change over three decades in the Asia-pacific region. **Journal Coastal Research**. v. 29. p. 1169-1183. 2013.

SILVA, M. do. S. F. da. **Territórios da Conservação: Uma Análise do Potencial Fitogeográfico das Uc's de Uso Sustentável em Sergipe**. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão, Sergipe. 2012.

SILVA, M. do S. F.; MELO E SOUZA, R. 2010. **Território usado e implicações do turismo na APA Litoral Sul em Sergipe**. Disponível em:< http://www.costeiros.ufba.br/Semin%C3%A1rio/Eixo%204/SILVA,%20M.%20do%20S.%20F.da.%20SOUZA,%20R.%20M.e%20_%20Territ%C3%B3rio%20usado%20e%20implica%C3%A7%C3%B5es%20do%20turismo%20na%20APA%20Litoral%20Su.PDF>. Acesso em 05 de setembro de 2015.

SLATKIN, M. Gene flow and the genetic structure of natural populations. **Science**. v. 236. p. 787–792. 1987.

_____. Isolation by distance in equilibrium and non-equilibrium populations. **Evolution**. v. 47. p. 264–279. 1993.

SOARES, M. L.G. A conceptual model for the responses of mangrove forests to sea level rise. **Journal of Coastal Research**. Special Issue, v. 56, p. 267-271. 2009.

STEARNS, A.D. The evolutionary significance of phenotypic plasticity. **Bioscience** v. 39. p. 436-44. 1989.

STRONG, A. MINNEMEYER, S. **Satellite Data Reveals State of the World's Mangrove Forests**. Disponível em:< <http://www.wri.org/blog/2015/02/satellite-data-reveals-state-world%E2%80%99s-mangrove-forests>>. Acesso em 10 de set de 2015.

TOMLINSON, P. B. **The Botany of Mangroves**. New York: Cambridge University Press, 1986. 170p.

TREWIN, C. Mangrove and Saltmarsh Monitoring: Literature Review. Disponível em: <<http://www.skm.com>>. South Brisbane. April, 2013.

United Nations Environment Programme – UNEP. 2014. Destruction of Carbon-Rich Mangroves Costs up to US\$42 billion in Economic Damages Annually. In: **The**

Importance of Mangroves to people a call to action. 2014. Disponível em: <<http://www.unep.org/newscentre/default.aspx?DocumentID=2796&ArticleID=11005#sthash.emJ9s9Tw.dpuf>>. Acesso em 20 de set. de 2015.

VANNUCCI, M. **Os Manguezais e nós: uma síntese de percepções.** Traduzido por Denise Navas-Pereira. ed. 2. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2002.

VISCOSI, V.; CARDINI, A. Leaf Morphology, Taxonomy and Geometric Morphometrics: A Simplified Protocol for Beginners. **PLoS ONE**. v. 6. n.10. 2011.

WOODROFFE, C. D. Mangrove sediments and geomorphology. In: ROBERTSON, A. I. e ALONGI, D. M. (Eds.). **Tropical mangrove ecosystems**. Coastal and estuarine series. American Geophysical Union, Washington. p. 7-41, 1992.

WRIGHT, S. Evolution in mendelian populations. **Genetics**. v.16.p. 97– 159. 1931.

_____. **The roles of mutation, inbreeding, crossbreeding, and selection in evolution.** Proceedings of the XI International Congress of Genetics. v. 1. p. 356–366. 1932.

_____.Surface of selective value revisited. **American Naturalist**. v. 131. p. 115–123. 1988.

YOUSSEF, T.; SAENGER, P. Photosynthetic gas exchange and accumulation of phytotoxins in mangrove seedlings in response to soil physico-chemical characteristics associated with waterlogging. **Tree Physiol**. v. 18. p. 317–24. 1998

ZUNZUNEGUI, C. Sleep disturbance impairs stroke recovery in the rat. **Sleep**. v.34, p. 1261–1269. 2011.

ZUNZUNEGUI, M. et. al. Seasonal physiological plasticity and recovery capacity after summer stress in Mediterranean scrub communities. **Plant Ecology**. v. 212, n. 1, p. 127–142. 2011.

CAPÍTULO 3

CENÁRIOS DA DISTRIBUIÇÃO POTENCIAL DE MANGUES NAS REGIÕES NORTE E NORDESTE DO BRASIL A PARTIR DA MODELAGEM DE DISTRIBUIÇÃO POTENCIAL DE ESPÉCIES

CENÁRIOS DA DISTRIBUIÇÃO POTENCIAL DE MANGUES NAS REGIÕES NORTE E NORDESTE DO BRASIL A PARTIR DA MODELAGEM DE DISTRIBUIÇÃO POTENCIAL DE ESPÉCIES⁶

Sindiany Suelen Caduda dos Santos
Rosemeri Melo e Souza
Edilson Divino de Araújo

RESUMO

Este artigo analisou a influência de requerimentos climáticos e de influência no nível relativo do mar, na distribuição potencial dos mangues do litoral norte e nordeste brasileiro, comparando as projeções de 6.000 anos A.P. (antes do presente), nos anos de 2015 e 2050, a partir da modelagem de distribuição de espécies. Para a modelagem foi utilizado o programa Maxent, a partir de onze variáveis climáticas e três variáveis relacionadas ao nível relativo do mar. Todas elas foram convertidas para uma malha com resolução de 2,5km. Segundo o critério de área sob a curva (AUC), os modelos foram classificados como modelos de excelentes resultados. Os mapas revelaram variações de áreas de adequabilidade em todo o litoral brasileiro para as espécies de manguê: *Avicennia* sp., *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn. f. e *Rhizophora mangle* L. A modelagem de distribuição potencial permitiu verificar como os requerimentos climáticos e de NRM influenciam na distribuição dos mangues em períodos distintos, destacando a influência da temperatura anual e da distância vertical à drenagem mais próxima como variáveis de maior contribuição. Os modelos alertam para redução e expansão de áreas adequadas para ocorrência de mangues no futuro e sugerem propostas de novos estudos voltados para investigações mais profundas sobre a fitogeografia de mangues.

Palavras-chave: Mudanças climáticas. MAXENT. Mangues brasileiros.

SCENERIES OF THE POTENTIAL DISTRIBUTION OF MANGROVES ON THE NORTHERN AND NORTHEASTERN COAST OF BRAZIL FROM THE POTENTIAL DISTRIBUTION OF SPECIES MODEL

ABSTRACT

This article analyzes the influence of climatic requirements and the influence on the relative sea level, in the potential distribution of mangroves on the northern and northeastern brazilian coast, comparing projections from 6,000 years before present, in the years of 2015 and 2050, from the species distribution model. For this model, Maxent software was used, from eleven weather variables and three variables related to the relative sea level. All of them were converted to a net with resolution of 2.5 km. According to the Area Under Curve (AUC) criterium, the models had excellent results. The maps revealed variations on adequability areas all over the brazilian coast for the mangrove species: *Avicennia* L., *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn.f., e *Rhizophora mangle* L. The potential distribution model allowed the verification how the climatic requirements and NRM influenced the distribution of the mangroves in distinct periods, highlighting the influence of the annual temperature and the vertical distance to the nearest drainage as variables of more contribution. The models alert to the reduction and expansion of adequate areas for the occurrence of mangroves in the future, and suggests proposals of new studies toward more profound investigations about mangrove phytogeography.

Keywords: Climatic changes. MAXENT. Brazilian mangroves

⁶ Artigo publicado na revista OKARA: Geografia em Debate. v. 9, n. 2, p. 313 – 324, 2015.

3.1 INTRODUÇÃO

A distribuição dos manguezais é interpretada como reflexo da mudança de variáveis que controlam a geomorfologia costeira (BLASCO et al., 1996). Nessa perspectiva, o desenvolvimento dos mangues é regulado por interações estabelecidas entre os fenômenos continentais e oceânicos e a sua expansão é determinada pela topografia ligada ao nível relativo do mar (NRM) (WOODROFFE, 1980). O aumento do NRM e alterações nas descargas fluviais são as principais forças motrizes responsáveis pela dinâmica de expansão ou contração dos manguezais (COHEN et al., 2008).

Dessa forma, é permitido afirmar que manguezais são altamente suscetíveis às mudanças tanto climáticas, como as referentes ao nível do mar e a flora constitui um dos primeiros organismos vivos do sistema a perceber os processos de transformações dos ambientes. Assim, espécies de mangues foram afetadas em sua distribuição por mudanças ambientais, no passado, refletem as transformações da contemporaneidade e provavelmente fornecerão respostas futuras como retrato das oscilações ambientais, sejam elas abióticas ou antropogênicas.

Para maiores investigações acerca das respostas ambientais dos mangues às variações climáticas e do nível relativo do mar, ferramentas metodológicas de modelagem de distribuição de espécies, *Species Distributions Modelling* (SDM), por exemplo, podem ser importantes aliadas nos propósitos da conservação da biodiversidade, uma vez que podem prever a distribuição potencial, através da relação estatística entre variáveis ambientais e coordenadas de presença e ou ausência das espécies (FRANKLIN; MILLER, 2009) e assim fornecer possíveis cenários da distribuição dos organismos. O modelo descreve a adequação no espaço ecológico, normalmente projetada em um espaço geográfico, produzindo uma área geográfica com provável ocorrência da espécie. Assim, áreas que satisfazem o nicho fundamental representam o potencial de distribuição das espécies e as áreas geográficas realmente habitadas correspondem à distribuição realizada (PHILLIPS et al., 2006).

Nesse sentido, através da modelagem distributiva foi possível prever como os mangues se comportam em meio às transformações do clima e do nível relativo do mar, comparando cenários distintos nos períodos: passado, presente e futuro. Essa forma de analisar a diversidade biológica do manguezal de forma preditiva constitui um elemento importante para interpretar, ainda que preditivamente, como a flora tem se comportado

diante de mudanças ambientais e provocar tomada de decisões voltadas para a conservação dos mangues.

Nesse contexto, o artigo analisou a influência de requerimentos climáticos e de influência no nível relativo do mar, na distribuição potencial dos mangues do litoral norte e nordeste brasileiro, comparando as projeções de 6.000 anos A.P; nos anos de 2015 e 2050, a partir da modelagem de distribuição de espécies.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

Inicialmente foram coletados dados de ocorrência das espécies de mangues que ocorrem no litoral norte e nordeste do Brasil: *Avicennia* L. (Avicenniaceae), *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn.f. (Combretaceae) e *Rhizophora mangle* L. (Rhizophoraceae). A coleta foi feita na base de dados *on-line Cria speciesLink* (<http://splink.cria.org.br/>). Ademais, foram utilizadas coordenadas do estado de Sergipe, coletadas em trabalhos de campo realizados no litoral sul sergipano, nos municípios de Itaporanga D'Ajuda, Estância e Santa Luzia do Itanhy, os quais, segundo Souza e Couto (2002), fazem parte da segunda bacia mais produtiva do estado, a bacia do Rio Piauí.

Para definição das variáveis ambientais foram considerados os parâmetros ecológicos relevantes que interferem diretamente na distribuição dos mangues (NASCIMENTO, 2008) e que estão disponíveis no banco de dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (AMBDATA, 2015) e do *Worldclim* (HIJMANS et al., 2005).

Os períodos (6.000 A.P., 2015 e 2050) foram projetados considerando as variáveis climáticas: temperatura média anual; sazonalidade de temperatura; amplitude térmica anual; temperatura média do trimestre mais seco; temperatura média do trimestre mais quente; temperatura média do trimestre mais frio; precipitação anual; sazonalidade de precipitação (coeficiente de variação); precipitação do trimestre mais chuvoso; precipitação do trimestre mais seco; e precipitação do trimestre mais quente. Também foram utilizadas as variáveis que se relacionam direta ou indiretamente com o NRM: declividade, densidade de drenagem e distância vertical à drenagem mais próxima.

Para modelagem foi utilizado o algoritmo de máxima entropia, MAXENT, o qual, dentre os programas de análise de distribuição potencial de espécies, tem apresentado melhor desempenho em relação a outros algoritmos (ELITH et al., 2010).

Ele utiliza apenas dados de presença, realiza inferências por meio de informações incompletas e usa a abordagem estatística para estimar a probabilidade de ocorrência das espécies, a partir do cálculo de distribuição da máxima entropia. O princípio da máxima entropia está relacionado à função de elaborar uma aproximação onde sejam respeitadas as restrições conhecidas das espécies (PHILLIPS et al., 2006).

Na perspectiva da modelagem, as camadas ambientais foram todas convertidas para a resolução de 2,5km e os modelos de distribuição de espécies foram avaliados a partir da área abaixo da curva *AUC* (*area under the curve*) obtida a partir da integração da curva *ROC* (*receiver operating characteristic*). O *AUC* apresenta variações de zero a um, sendo que, valores próximos a um indicam alto desempenho do modelo e valores menores do que 0,5 indicam baixo desempenho do modelo (ELITH et al., 2010). Já que, frequentemente não se tem dados de real ausência das espécies, foi gerada uma amostra de mil pontos de pseudo-ausências para juntar à amostra e estimar a curva *ROC* e *AUC* para o MAXENT (PHILLIPS et al., 2006).

A contribuição das variáveis foi analisada por meio dos valores percentuais de contribuição revelados pelo próprio MAXENT. Salienta-se que diversos modelos foram gerados com o propósito de avaliar o percentual de contribuição de cada variável ambiental. Àquelas variáveis que não apresentavam percentual de contribuição (com valor igual a zero) eram retiradas do modelo e uma nova distribuição potencial era gerada. Esse procedimento foi realizado com o propósito de avaliar o quanto as variáveis que influenciavam na potencial distribuição dos mangues foram capazes de sofrer modificações em função da correlação de variáveis e de garantir maior confiabilidade nos mapas de adequabilidade gerados e analisados.

Os mapas de adequabilidade gerados para as áreas de ocorrência dos mangues investigados foram editados no *software* ArcGis, versão 10.1 (ESRI, 2010).

3.3 RESULTADOS

De maneira geral, os modelos apresentaram *AUC* com valores próximos de um, o que indica uma discriminação excelente dos modelos (METZ, 1986). A distribuição para as três espécies variou tanto entre os períodos projetados para cada espécie, como

também entre as espécies de mangue por período considerado. Contudo, saliente-se que o litoral norte e nordeste brasileiro apresenta condições adequadas para a potencial ocorrência da *Avicennia* sp., da *L. racemosa* e da *R. mangle* (Figuras 3.1, 3.2 e 3.3).

3.3.1 Período 6.000 A.P.

Os três principais requerimentos ambientais que determinaram a distribuição potencial da *Avicennia* sp. contribuíram em 67,8%. Quanto à *L. racemosa*, os três primeiros requerimentos explicaram 65,5%. Para *R. mangle* somaram 65,9%.

No que se refere às variações de adequabilidade por período, no cenário 6.000 A.P, o principal requerimento ambiental que determinou a distribuição potencial das espécies foi a temperatura anual, com porcentagens acima de 38,2% de contribuição para indicação de áreas de adequabilidade ambiental.

Nesse período (Figuras 3.1, 3.2 e 3.3) não existem variações de adequabilidade significativas entre as espécies na região norte. Por outro lado, é possível observar maiores áreas de adequabilidade para *L. racemosa*, em relação às outras espécies, na região nordeste, bem como os requerimentos ambientais que permitiram a ocorrência de áreas mais adequadas para a colonização e desenvolvimento deste mangue: temperatura anual e precipitação anual.

3.3.2 Atual - 2015

A contribuição das variáveis ambientais para a distribuição dos mangues somaram em 60,9% para *Avicennia* sp.; 76,4% para *L. racemosa* e; 67,7% para *R. mangle*.

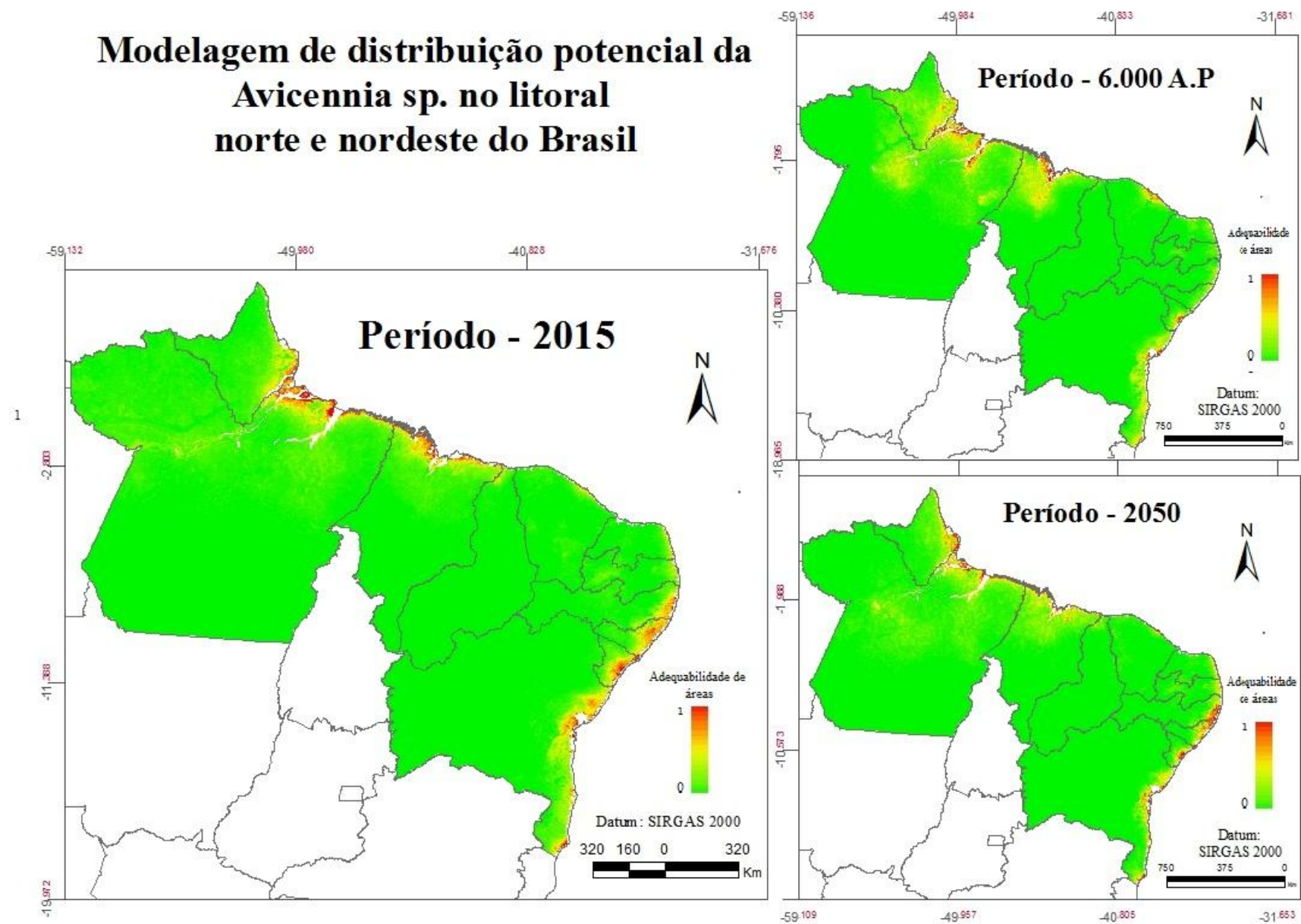
No cenário de 2015, a temperatura anual também é determinante para distribuição potencial de mangues, com valor de contribuição variando entre 23,2% para *Avicennia* sp. e 48,8% para *L. racemosa*. Há também uma contribuição considerável, para as três espécies, da distância vertical à drenagem mais próxima, precipitação do trimestre mais quente e temperatura de sazonalidade.

Na região norte, ainda referente ao período de 2015 (Figuras 3.1, 3.2 e 3.3) o Maranhão apresenta uma redução de áreas adequadas, em relação ao passado, mas o Ceará tem suas áreas de adequabilidade praticamente suprimidas para os três mangues, situação similar até a Paraíba. Em Pernambuco, as áreas revelaram adequabilidade com valores próximos de um, o que se repete até o litoral norte da Bahia. Saliente-se que a *L. racemosa* mais uma vez destaca-se com a maior faixa contínua de adequabilidade litorânea, em relação à *R. mangle* e *Avicennia* sp.

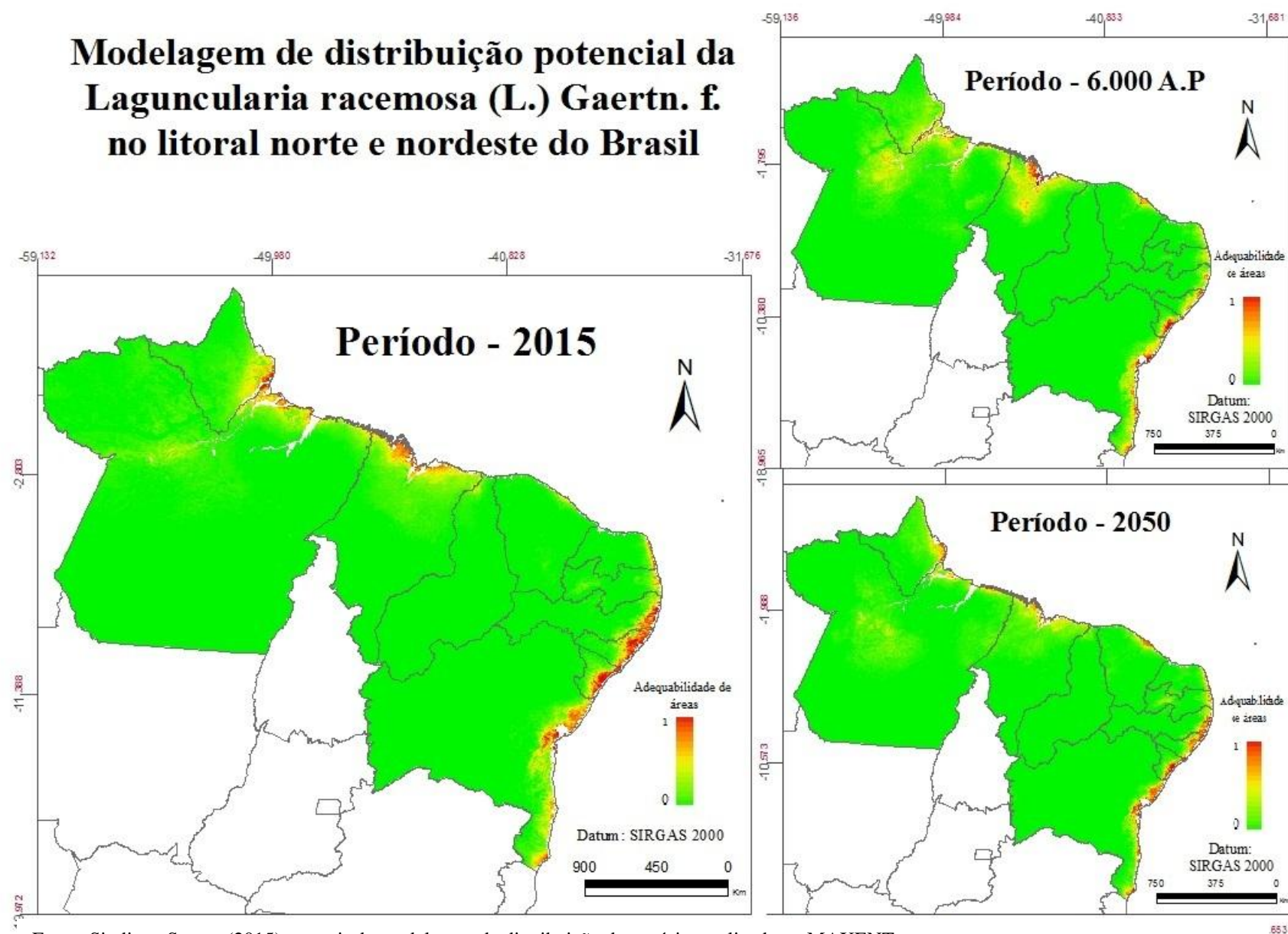
3.3.3 Período 2050

As variáveis apresentaram contribuição de 60,9% para *Avicennia* sp.; 65,3% para *L. racemosa* e; 62,4% para *R. mangle*.

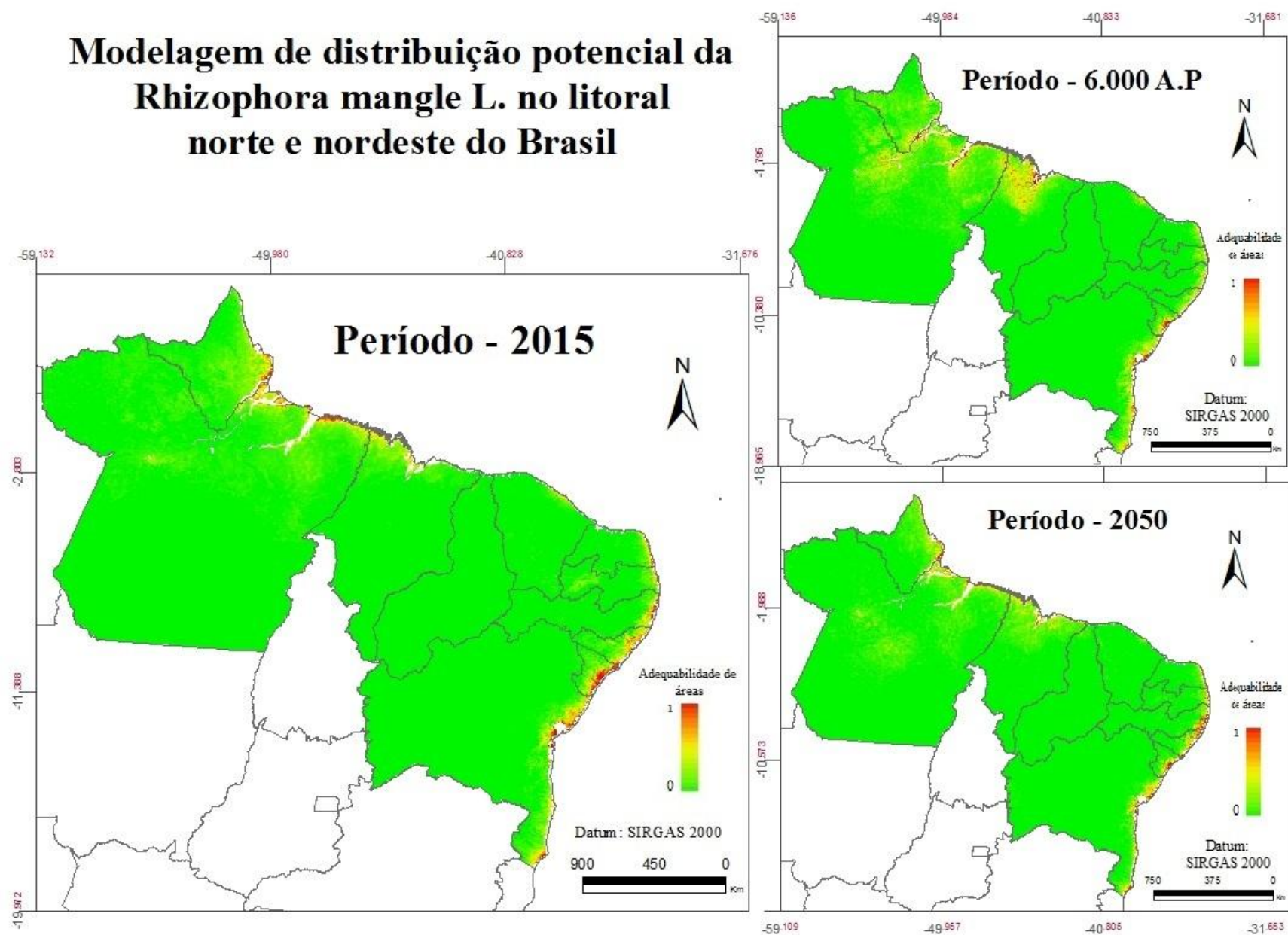
Para a região norte é possível observar que (Figuras 3.1, 3.2 e 3.3) existirão condições adequadas para ocorrência das três espécies no litoral investigado. Contudo, os modelos revelam que existirão mais áreas de adequabilidade de ocorrência para *Avicennia* sp. do que para as outras espécies. De maneira específica, por região, poderá ocorrer uma redução de áreas adequadas no Pará, tanto para *Avicennia* sp., como para *L. racemosa*. e expansão das áreas no Amapá. Já para a *R. mangle*, as mudanças de áreas adequadas, em relação ao presente, serão sutis. No nordeste, existem variações restritas para cada espécie, mas existem maiores áreas de adequabilidade para a *L. racemosa*.



Fonte: Sindiany Santos (2015), a partir da modelagem de distribuição de espécies realizada no MAXENT.



Fonte: Sindiany Santos (2015), a partir da modelagem de distribuição de espécies realizada no MAXENT.



Fonte: Sindiany Santos (2015), a partir da modelagem de distribuição de espécies realizada no MAXENT.

3.4 DISCUSSÃO

Os modelos confirmam de forma preditiva a sensibilidade dos mangues diante de mudanças ambientais associadas às alterações climáticas. Ressalte-se que, quando as condições ambientais, principalmente as climáticas, alteram-se, a vegetação da área atingida também sofre modificações (RICKLEFS, 2003). Apesar de todo litoral investigado apresentar áreas adequadas para distribuição potencial dos mangues, para cada período projetado, as regiões norte e nordeste apresentam respostas diferenciadas que variam especialmente em função do percentual de contribuição de cada requerimento ambiental, ressaltando que a temperatura anual, enquanto variável climática, e distância vertical à drenagem mais próxima, variável relacionada ao nível relativo do mar, foram os requerimentos de maior contribuição para modelagem da distribuição potencial de mangues.

Compreende-se o destaque das respostas para temperatura anual, a partir de investigações científicas feitas por Cintrón e Schaeffer-Novelli (1982), ao afirmar que os manguezais são limitados em escala global pela temperatura e pela falta de tolerância aos lugares onde a temperatura mensal para o mês mais frio varia entre 15 e 16°C. Os autores ressaltam que a temperatura média anual dos lugares onde os bosques de mangues estão presentes deve ser em torno de 20°C a 22°C e a amplitude térmica, entre 8°C e 13°C.

Além disso, quanto a segunda variável de maior importância para a distribuição potencial, também ligada às variações do clima, consoante Dominguez et al. (1990), Behling et al. (1997) e Soares et al. (2012) a dinâmica dos manguezais do litoral nordeste, sul e sudeste, no período do Holoceno, foi marcada pelo controle das variações do nível relativo do mar. Já para a região norte, investigações palinológicas, segmentológicas e geoquímicas mostraram fases de estabelecimento e expansão/contração de manguezais, o que pode ter relação com as mudanças no nível relativo do mar e com o nível da descarga fluvial (COHEN et al., 2005a, 2005b, 2008, 2009; GUIMARÃES et al. 2012; SMITH et al. 2011a, 2011b).

3.4.1 Período 6.000 A.P

Investigações palinológicas realizadas por Rodrigues e Senna (2011) na Ilha do Marajó, estado do Pará, revelaram que a partir de 10.000 A.P. havia a predominância da *R. mangle*, com desaparecimento de registros polínicos até 7.000 A.P., quando novamente pólenes do gênero *Rhizophora* foram encontrados, o que indica que no período de 6.000 A.P. era possível encontrar a espécie estudada. Esta assertiva corrobora com os resultados dos modelos ao revelar áreas de adequabilidade para a *R. mangle* e permite refletir acerca da sensibilidade do mangue às variações ambientais que determinavam a ocorrência ou ausência da espécie.

Ainda de acordo com as pesquisas das autoras acima, o aparecimento do gênero *Avicennia* deu-se há cerca de 8.600 A.P., com desaparecimento de registros de pólen até cerca de 7.000 A.P., e novos achados no período anterior a 6.500 A.P. Mais uma vez o modelo pode ser validado a partir da literatura dos estudos palinológicos realizados.

No que se refere à *L. racemosa*, pesquisas realizadas nos sedimentos holocênicos do Pará, por Senna e Paiva (2005), indicaram a presença de tipos polínicos de *Laguncularia*, datados de 6.850 até 4.943 A.P.

É possível afirmar que os estudos mais detalhados de investigação palinológica situam-se no cinturão contínuo de manguezais, que vai desde o Pará (N) até o Maranhão (NE). Entretanto, outras áreas da região nordeste merecem maior atenção quanto aos estudos paleoecológicos, pois, é através da reconstrução da história ecológica dos ambientes que se torna possível entender a dinâmica de expansão e recuo de manguezais no ambiente.

3.4.2 Atual - 2015

Para o referido período, foram verificadas modificações sutis, quanto às áreas adequadas favoráveis à distribuição potencial das espécies na região norte, sendo a redução de áreas adequadas mais evidente para a *R. mangle*. Segundo Smith et al. (2011a, 2011b), os dados de pólen e isotópicas de litoral fluvial, indicaram, durante as investigações, que a vegetação de mangue na Ilha do Marajó era mais ampla durante o médio holoceno do que atualmente. Tal assertiva pode sustentar que as mudanças do clima e das variáveis relacionadas ao NRM, principalmente a distância vertical à

drenagem mais próxima, podem ter influenciado na redução de áreas adequadas para a colonização e desenvolvimento de mangues.

Em 2015, a subtração de algumas áreas de alta adequabilidade para todas as espécies na região nordeste pode estar relacionada a erros de omissão dos modelos. Todavia, o fato pode ser decorrente da carência de coleta de dados de distribuição das espécies, ou de maneira mais preocupante, resultante da inexistência de dados por conta da degradação causada pelo homem em áreas de manguezal. Nos últimos 50 anos, por exemplo, entre 30% a 50% das florestas de mangue foram perdidas e em alguns países esta perda tem sido contínua, principalmente por conta das ações antrópicas (GODOY; LACERDA, 2015).

Apesar disso, alguns pesquisadores já têm identificado que nem todas as áreas de manguezal irão responder negativamente a um cenário de mudanças climáticas (GODOY; LACERDA, 2015). Os mapas mostram que algumas faixas da região nordeste sofrem expansão de mangues e revelam como as oscilações de valores dos requerimentos ambientais, em relação ao passado, têm proporcionado um aumento da faixa de ocupação de mangues.

Através de sensoriamento remoto, pesquisas realizadas na costa nordeste do Brasil revelaram que as florestas de mangue têm aumentado (MAIA et al., 2006), quando comparadas a estudos feitos por Herz (1991). Uma investigação feita no rio Jaguaribe, considerado o maior rio do estado do Ceará, revelou que as áreas de ilhas que ficam dentro do estuário tiveram um aumento de 24,14 hectares na colonização de mangues, no intervalo temporal de 1992 – 2003 (GODOY; LACERDA, 2015). Além disso, afirmam os autores que no estuário do rio Pacoti, também no Ceará, tiveram o acréscimo de seis ilhas entre 1958 a 1999 e no rio Aracatamirim houve uma elevação de mais de 400% em área de mangue de 1993 a 2008. Levantamentos bibliográficos como estes do Ceará revelam como os resultados dos modelos são importantes em relação à sugestão de áreas que de fato têm sofrido expansão de mangues e estão sendo analisadas por pesquisadores e, conseqüentemente, modelos de distribuição potencial servem como direcionador de outras áreas onde os mangues estão expandindo, mas ainda merecem ser investigados, principalmente para tomada de medidas relacionadas à gestão de áreas costeiras. Ressaltando que, uma possível hipótese para este acontecimento pode estar relacionada à oferta de sedimentos fluviais e nutrientes; à intrusão salina em áreas antes inabitadas por mangues e não menos importante, à atuação antropogênica que é capaz

de maximizar efeitos das mudanças climáticas sobre a distribuição dos mangues, por meio da combinação de uma série de atividades humanas.

Portanto, a reconstrução histórica-ecológica do ecossistema no norte-nordeste do Brasil, que revele as possíveis causas de expansão dos mangues *in locu*, é extremamente relevante dentro do contexto de mudanças climáticas, gestão e conservação dos manguezais.

3.4.3 Período 2050

Neste cenário são observadas modificações em áreas de adequabilidade para todas as espécies nas duas regiões brasileiras, ora aumentando em algumas áreas ora diminuindo. Por outro lado, é possível ver uma tendência de redução de áreas adequadas principalmente para *R. mangle* e *L. racemosa*, em relação à *Avicennia* sp., ao longo do litoral.

Os mapas de adequabilidade revelam, portanto, possíveis perdas de áreas que em 2015 apresentam-se como potencialmente adequadas para ocorrência dos mangues e que, conseqüentemente, atuam como berço da biodiversidade aquática. Este fato ainda amplia a preocupação em meio às expectativas futuras do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas, as quais indicam uma elevação média global do mar entre 0,45 a 0,81 para as duas últimas décadas do século XXI (STOCKER et al. 2013) e sugerem transformações em todo o litoral. Consoante Godoy e Lacerda, o nível relativo do mar será uma variável-chave enquanto indutora das distintas respostas dos manguezais. Além disso, ressaltam os autores que os impactos humanos que atuam negativamente sobre os manguezais irão influenciar o clima e este afetará a distribuição da vegetação, uma vez que as alterações climáticas estão interligadas ao aumento da salinidade da água tanto superficial como subterrânea, à hidrodinâmica de bacias hidrográficas, à quantidade de sedimentos que chegam até a costa, ao equilíbrio de erosão/sedimentação do litoral, e também, à mobilização de nutrientes e poluentes no ambiente estuarino (GODOY; LACERDA, 2015).

Por esse ângulo, os modelos permitem reforçar que é preciso realizar pesquisas em escala local que tragam maiores informações sobre a forma como os mangues investigados estão distribuídos atualmente no norte e nordeste brasileiro, em meio a

existência de outros fatores abióticos atuantes: padrões locais de taxas da elevação do nível relativo do mar e de sedimentação/erosão (GILMAN et al., 2008), topografia do relevo, formas de uso e ocupação do solo (MCLEOD; SALM, 2006), além dos padrões de salinidade. Para este último fator, relembre-se que a cunha salina é um requisito determinante na zonation das espécies (SCHAEFFER-NOVELLI, 1990) e que, mudanças climáticas ligadas às alterações no nível relativo do mar influenciam nas taxas de salinidade (SERGIPE, 1984). A *Avicennia* sp., por exemplo, tem a salinidade como variável limitante para a sua ocorrência em alguns ambientes de manguezal. Logo, as alterações climáticas, ao modificar fatores em microescala, podem ser as potenciais responsáveis pela distribuição das espécies reveladas pelos modelos.

Nesse contexto, os modelos de distribuição dos mangues *Avicennia* sp., *L. racemosa* e *R. mangle*, exigem a efetivação de novas investigações e de tomada de decisões em favor da conservação da flora e do ecossistema manguezal.

3.5 IMPLICAÇÕES PARA A CONSERVAÇÃO DOS MANGUES

Os cenários ambientais representados pelas áreas de adequabilidade dos mangues suscitam a realização de estudos futuros e mais aprofundados em estados da região nordeste onde a reconstrução histórica e ecológica ainda precisa ser investigada por meio de novos estudos. Além disso, os resultados permitem refletir sobre a necessidade de elaboração de planos estratégicos para monitoramento e conservação dos mangues brasileiros, já que, o entendimento e a proteção da diversidade biológica dependem do conhecimento da distribuição dos organismos.

É sabido que a dinâmica distributiva das florestas de mangue é influenciada pela combinação de fatores geomorfológicos, climáticos e ecológicos do ambiente costeiro. Mas, apesar de padrões gerais determinarem a distribuição dos mangues, como é o caso dos fatores climáticos e ligados ao nível relativo do mar, cada sistema ambiental possui características heterogêneas particulares que determinarão a ocorrência e zonation dos bosques de mangues e que, conseqüentemente, revelarão a identidade do ecossistema, seja em escala regional ou local. Logo, o próximo capítulo, também escrito em forma de artigo partiu da necessidade de investigar de que maneira os bosques de

mangues relacionam-se com os fatores abióticos típicos de cada habitat investigado em escala regional, no complexo estuarino Real-Piauí-Fundo, estado de Sergipe.

Agradecimentos

Agradeço à Fundação de Apoio à Pesquisa e à Inovação Tecnológica do estado de Sergipe pela concessão de bolsa de doutorado, à Fundação Mamíferos Aquáticos pelo apoio na execução do trabalho do doutorado, ao Grupo de Pesquisa em Geoecologia e Planejamento Territorial (GEOPLAN/UFS) e ao Núcleo de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA/UFS).

REFERÊNCIAS

- AMBDATA. Variáveis Ambientais para Modelagem de distribuição de espécies. Disponível em: < http://www.dpi.inpe.br/Ambdata/descricao_dados.php.> Acesso em 10 de dez de 2014.
- BEHLING, H., LICHTÉ, M. Evidence of dry and cold climatic conditions at glacial times in tropical Southeastern Brazil. **Quaternary. Research.** v.48. p. 348-358. 1997.
- CINTRÓN, G.; SCHAEFFER-NOVELLI, Y. Mangrove forest – ecology and response to natural and man induced stressors. In: Workshop on coral reefs, seagrass beds and mangroves: their interactions in coastal zones of the Caribbean. **St. Croix, U.S., Virgin Islands, Unesco Report in Marine Science.** v. 23. p. 87-113. 1982.
- COHEN, M.C.L. et al. Impact of sea-level and climatic changes on the Amazon coastal wetlands during the late Holocene. **Vegetation History and Archaeobotany.** v. 18. p. 425–439. 2009.
- COHEN, M.C.L. et al. Wetland dynamics of Marajó Island, northern Brazil, during the last 1000 years. **Catena.** v. 76, p. 70–77, 2008.
- COHEN, M.C.L., et al. A model of Holocene mangrove development and relative sea-level changes on the Bragança Peninsula (northern Brazil). **Wetlands Ecology and Management.** v. 13.p. 433–443. 2005a.
- COHEN, M.C.L., BEHLING, H., LARA, R.J. Amazonian mangrove dynamics during the last millennium: the relative sea-level and the little Ice Age. **Review Palaeobotany Palynology.** v.136. p. 93–108. 2005b.
- DOMINGUEZ, J.M.L. et al.. Geologia do Quaternário costeiro do estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Geociências.** v. 20. p. 208–215. 1990.
- ELITH, J. et al., A statistical explanation of Maxent for ecologists. **Diversity and Distributions.** v. 17, p. 43-50,2010.
- ESRI, *ArcGis* 10.2. Geographical Information System. Environment System Research Institute, Inc. Readlands, C.A, 2010.
- FRANKLIN J.; MILLER, J. A. **Mapping Species Disbriuitions.** Cambridge University Press, 2009.
- GILMAN, E.L. et al. Threats to mangroves from climate change and adaptation options. **Aquat. Bot.,** v. 89, p. 237-250.2008.
- GODOY, M. D. P.; LACERDA, L. D. de. Mangroves Response to Climate Change: a Review of Recent Findings on Mangrove Extension and Distribution. **An Acad. Bras. Ciênc.** v. 87. n. 2. Rio de Janeiro. Apr./june 2015.
- GUIMARÃES, J.T.F. et al. Mid- and late-Holocene sedimentary process and palaeovegetation changes near the mouth of the Amazon River. **The Holocene.** v. 22. p. 359–370. 2012.
- Herz, R. **Manguezais do Brasil.** Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1991.
- HIJMANS, R.J., et al. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. **International Journal of Climatology.** v. 25. p. 1965-1978. 2005.

MAIA, L.P, LACERDA, L.D, MONTEIRO, L.H.U; SOUZA, G.M. **Atlas dos manguezais do Nordeste do Brasil: avaliação das áreas de manguezais dos estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco**. SEMACE. 2006.

MCLEOD, E ; SALM, R.V. Managing Mangroves for Resilience to Climate Change. In: SWITZERLAND, G. **INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE (IUCN)**. 64 p. 2006.

METZ, C.E. ROC Methodology in radiologic imaging. **Investigational Radiology** v.21. p.720-733. 1986.

NASCIMENTO, S. **Ecofisiologia do manguezal**. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos. Aracaju, Sergipe: Degrase, 2008.

PHILLIPS, S. J.; ANDERSON, R.P.; SCHAPIRE, R. E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. **Ecological Modelling** .v.190. 2006.

RICKLEFS, R.E. **A economia da natureza**. ed. 5. Editora Guanabara Koogan: Rio de Janeiro, 2003.

RODRIGUES, L.C.S.; SENNA, C.S.F. 2011. Palinologia holocênica do testemunho Bom Jesus, margem leste da ilha do Marajó, Pará, Amazônia. **Acta Amazonica**, 4(1): 9-20.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y. et al. Variability of mangrove ecosystem along the brazilian coast. **Estuaries**. v. 13, n. 2. p. 204-218. 1990.

SENNA, C. S. F.; PAIVA, R. S. Análise da riqueza, diversidade e equabilidade da diatomoflórula em sedimentos Holocênicos da Baía de Marapanim-Pa. In: 56º **Congresso Nacional de Botânica**. 2005. Disponível em: http://www.abequa.org.br/trabalhos/0296_cristina_s.pdf. Acesso em: 20 de ago.2015.

SERGIPE (Estado). Administração Estadual do Meio Ambiente (ADEMA). **Levantamento da flora e caracterização dos bosques de mangue do Estado de Sergipe**. Sergipe, 1984.

SMITH, C.B et al. Holocene coastal vegetation changes at the mouth of the Amazon River. **Review of Palaeobotany and Palynology**. v. 168. p.21–30. 2011a

SMITH, C.B. **A influencia marinha nas aguas do Lago Arari (Ilha de Marajo-Pa) durante o Holoceno com base em indicadores biologicos e isotopicos**. Tese (Doutorado em Geologia). Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, do Instituto de Geociências , Universidade Federal do Pará, Belém, 2011b.

SOARES, M.L.G. et al. Southern limit of the Western South Atlantic mangroves: Assessment of the potential effects of global warming from a biogeographical perspective. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**. v.101. p. 44–53. 2012.

SOUZA, M. F. L. de. COUTO, E. C. G. Caracterização Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Piauí (SE). In: SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. **Conceitos de Bacias Hidrográficas**. Ilheus, Bahia: Editus, 2002.

STOCKER, T.; DAHE, Q.; PLATTNER, G-K. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **IPCC: Working group I Contribution to the IPCC fifth assessment Report (AR5), Climate Change 2013: the physical science basis**. 2216p. 2013.

CAPÍTULO 4

**PLASTICIDADE FENOTÍPICA E MORFOMETRIA
GEOMÉTRICA EM FOLHAS DE MANGUES (*Avicennia
schaueriana* Stapf & Leechm, *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn.F. e
Rhizophora mangle L.) DE UM COMPLEXO ESTUARINO, BRASIL**

**PLASTICIDADE FENOTÍPICA E MORFOMETRIA GEOMÉTRICA EM
FOLHAS DE MANGUES (*Avicennia schaueriana* Stapf & Leechm., *Laguncularia
racemosa* (L.) Gaertn.F. e *Rhizophora mangle* L.) DE UM COMPLEXO
ESTUARINO, BRASIL**

**Sindiany Suelen Caduda dos Santos
Edilson Divino de Araújo
Rosemeri Melo e Souza**

RESUMO

As espécies de mangues *Avicennia schaueriana* Stapf & Leechm.; *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn.f.; *Rhizophora mangle* L. caracterizam-se por sobreviver em ambientes heterogêneos e complexos. Por consequência, estas espécies apresentam plasticidade fenotípica variável, em função dos fatores ambientais a que estão submetidas. A partir do uso de ferramentas e técnicas de morfometria geométrica, este artigo verifica a ocorrência de variações de forma e tamanho das folhas das populações de mangues nos estuários inferior, médio e superior do complexo estuarino Real-Piauí-Fundo, no litoral sul de Sergipe, e se os padrões de variação estão relacionados aos fatores sedimentológicos, climáticos e de salinidade da água. Para as investigação das três localidades, foram coletadas amostras das espécies de mangues, de sedimento, água e de 450 folhas para *A. schaueriana*, 600 folhas para *L. racemosa* e 600 folhas para *R. mangle*, em indivíduos saudáveis com altura superior a 3 metros. As plantas e os fatores abióticos foram analisados nos laboratórios da Universidade Federal de Sergipe e do Instituto Tecnológico de Pesquisa de Sergipe. Na análise morfométrica foram utilizados 3 marcos e 16 semimarcos anatômicos ao longo da folha previamente digitalizada, desde a base do pecíolo até a porção terminal. Além da diferenciada distribuição dos componentes abióticos ao longo do complexo estuarino, a análise de Componentes Principais (ACP) dos aspectos físico-químicos mostrou que a salinidade (teor de Na, salinidade da água e condutividade elétrica) e a granulometria (silte) são fatores de extrema importância, entre os estuários, para a distribuição das espécies. Após o alinhamento de Procrustes no *software* MorphoJ, a análise de componentes principais mostrou que a forma da lâmina foliar variou entre as localidades. Os três primeiros componentes principais explicaram 93% (*A. schaueriana*), 92% (*L. racemosa*) e 95% (*R. mangle*) da variação simétrica da forma da folha. A análise discriminante, por espécie nas diferentes localidades, mostrou uma estruturação espacial relacionada à forma das folhas nas áreas amostradas, indicando que elas separam-se nos grupos conhecidos *a priori*. A análise de agrupamento também mostrou que existem três grupos distintos para as três espécies, com índices de correlação cofenética iguais a 0.95 (*A. schaueriana*), 0.92 (*L. racemosa*) e 0.66 (*R. mangle*). Na análise de forma e tamanho, não existe efeito de alometria ($p < 0.01$). Porém, existe diferença significativa de tamanho da folha ($p < 0.01$) entre as três regiões estuarinas. As análises de regressão realizadas entre os componentes de solo e salinidade da água, e a forma e tamanho das folhas de mangues revelaram resultados distintos quanto à significância dos elementos para cada espécie; na análise de regressão entre clima, forma e tamanho, *L. racemosa* e *R. mangle* apresentaram valores significativos de p no que se refere às temperaturas mínima e máxima. À vista disso, mesmo em microescala existem tendências de variação na forma e tamanho das folhas de mangues nas três localidades de amostragem, as quais se modificam diante de diferentes pressões ambientais, sendo que a *R. mangle* é uma

espécie generalista por ter maior plasticidade fenotípica em relação à *A. schaueriana* e *L. racemosa*, as quais poderiam ser chamadas de especialistas.

Palavras-chave: Flora de Manguezal. Forma e tamanho foliar. Marcos e semimarcos anatômicos. Nordeste do Brasil.

PHENOTYPIC PLASTICITY AND GEOMETRIC MORPHOMETRICS IN LEAVES OF MANGROVES (*AVICENNIA* L.; *LAGUNCULARIA RACEMOSA* (L.) GAERTN.F.; *RHIZOPHORA MANGLE* L.) FROM A ESTUARY COMPLEX, BRAZIL

ABSTRACT

The species of mangroves *Avicennia schaueriana* Stapf & Leechm., *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn.f. and *Rhizophora mangle* L. are categorized for surviving in heterogeneous and complex environments. As a consequence, these species show a variable phenotypic plasticity, due to the environmental factors they are submitted. From the use of tools and techniques of geometric morphometrics, this article verified the occurrence of variations in shape and size of the leaves of the populations of the mangroves on the inferior, middle and superior estuaries of the estuary complex Real-Piauí-Fundo, on the Southern coast of Sergipe, and if the variation patterns are related to sedimentological, climatic and salinity of the water factors. For the investigation of the three localities, samples of the species of the mangroves, of sediment, water, and of 450 leaves for *A. schaueriana*, 600 leaves for *L. racemosa* and 600 for *R. mangle*, were collected, in healthy individuals with height above 3 meters. The plants and the abiotic factors were analyzed in the labs of Universidade Federal de Sergipe and Instituto Tecnológico de Pesquisa de Sergipe. In the morphometric analysis, 3 anatomic marks and 16 anatomic semimarks were used on the previously digitized leaf, from the base of the petiole to the final portion. Aside from the differentiated distribution of the abiotic components throughout the estuary complex, the Analysis of Main Components (ACP) of physiochemical aspects showed that the salinity (level of Na, salinity of the water and electric conductivity) and the grain size (silte) are highly important factors, among the estuaries, for the distribution of the species. After the alignment of Procrustes on the software MorphoJ, the analyses of main components showed that the shape of the leaf lamina varied among the localities. The three first main components explained 93% (*A. schaueriana*), 92% (*L. racemosa*) and 95% (*R. mangle*) of the symmetric shape of the leaf. The discriminant analysis for species in the different localities, showed a spatial structure related to the shape of the leaves in the sampled areas, indicating that they get separated in the known groups a priori. The analysis of the grouping also showed that there are differences in the shape of the leaf of *A. schaueriana* and *R. mangle*, among the estuaries. The analysis of size showed that there is a significant difference of this variable of the leaf ($p < 0.01$). In the analysis of shape and size, there's no allometry effect ($p < 0.01$). But, there's a significant difference in the size of the leaf ($p < 0.01$) among the three estuary regions. In the analyses of regression performed among the soil components and the salinity of the water, and the shape and size of the leaves of the mangroves revealed distinct results related to the significance of the elements for each species. In the analysis of regression between climate, shape and size, *L. racemosa* and *R. mangle* presented significant values of ($p < 0.05$) related to minimum and maximum temperatures. Therefore, even in microscale there are tendencies of variation in the shape and size of the leaves of the mangroves in the three sample localities, which change due to different environmental pressures, whereas the *R. mangle* is a generalist

species for having more phenotypic plasticity in contrast to *A. schauerianna* e *L. racemosa*, which could be called specialists.

Keywords: Mangrove Flora. Shape and size of the leaf. Anatomic Marks and Semimarks. Brazilian Northeast.

4.1 INTRODUÇÃO

A plasticidade fenotípica é a capacidade de um dado genótipo em revelar fenótipos alternativos que dependem das condições ambientais (GIANOLI; VALLADARES, 2012). No caso das plantas, a plasticidade fenotípica consiste em um importante meio pelo qual a flora lida com a heterogeneidade ambiental. Por isso, compreender a variação de características de plantas em habitats heterogêneos é relevante para prever respostas dos organismos aos ambientes em mudança (BEDETTI, et al., 2011).

Nesse sentido, avaliações ecológicas significativas de plasticidade fenotípica devem incluir gradientes ambientais vivenciados pelos organismos que estão na natureza (MINER et al., 2005; GIANOLI; VALLADARES, 2012). O estudo da diferenciação morfológica entre as populações é o primeiro passo na determinação da identidade e importância relativa das forças evolutivas que promovem ou impedem a discriminação das plantas. A falta de diferenciação fenotípica entre populações pode ser resultante de: origem recente das populações; altas taxas de fluxo gênico; ou a seleção natural favorecendo fenótipos semelhantes em cada população. Por outro lado, a distinção na população pode ser promovida por qualquer evento de seleção natural ou por deriva genética. A seleção natural intensa pode favorecer diferentes fenótipos em cada população em resposta às diferenças de regimes seletivos entre localidades. Entretanto, se populações foram fundadas por alguns indivíduos ou se os tamanhos populacionais eram pequenos, a diferenciação poderia ser resultante de deriva genética (DOBZHANSKY, 1970; MAYR, 1966; SLATKIN, 1987, 1993; WRIGHT, 1931, 1932, 1988).

As investigações acerca da relação entre a plasticidade fenotípica e os fatores abióticos têm expandido (SCHLICHTING, 2002; VALLADARES et al., 2006), principalmente no que se refere às respostas das plantas às mudanças globais de clima, mudanças no uso da terra e plantas invasoras (GRATANI et al., 2000; GRATANI, 2014). Fazer análises das respostas das espécies vegetais aos novos cenários ambientais

é de extrema importância para compreender a plasticidade fenotípica (PARMESAN, 2006) e até mesmo prever mudanças na distribuição das espécies, bem como na composição da comunidade e produtividade (LANDE, 2009).

No caso dos mangues, os quais sobrevivem em meio à heterogeneidade ambiental, as variações da estrutura foliar podem representar um elemento fundamental para averiguações no âmbito da plasticidade fenotípica. Até mesmo espécies de gênero idêntico podem apresentar variações de forma (KLINGENBERG et al., 2012). Na família Rhizophoraceae, a morfologia da forma é particularmente uniforme, ainda que existam diferenças na textura da folha e no tamanho médio. A textura das folhas é razoavelmente firme, praticamente coriácea, mas nunca rígida. A venação é obscura e nunca proeminente. A suculência é uma característica que varia de acordo com a salinidade e com a idade da folha (TOMLINSON, 1986). O gênero *Avicennia* possui particularidades foliares que permitem diferenciar as espécies (Ibid). A espécie *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn.f. também possui singularidades nas folhas que permitem diferenciá-la das outras espécies de mangues, como é o caso do pecíolo vermelho, situado na base da folha. Todavia, estas características gerais devem ser observadas com cautela em cada ambiente de manguezal, pois, uma vez que se trata de um ecossistema heterogêneo, as plantas desenvolvem estratégias de sobrevivência diferenciadas.

Três das sete espécies de mangues que se distribuem ao longo da costa brasileira, ocorrem na costa litorânea do nordeste, são elas: *Avicennia shaueriana* Stapf & Leechm., *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn.f. e *Rhizophora mangle* L. Estes mangues sobrevivem submetidos às variações abióticas de localidades diversas. Por essa razão, buscar entender as respostas fornecidas pelas plantas em ambientes distintos foi fundamental para diagnosticar de que modo as espécies comportam-se em meio às variações ambientais de solo, clima e salinidade da água de um complexo estuarino. Estes pontos são importantes para estabelecer espécies com maior capacidade de tolerar variações ambientais e promover investigações voltadas para recuperação de áreas de manguezal.

Nesse sentido, os estudos morfométricos foliares, por meio do uso de ferramentas da morfometria geométrica, são importantes para investigar as diferenças existentes entre as espécies de mangues, bem como padrões de variação em uma mesma espécie. O estudo da morfologia foliar é central à taxonomia e sistemática e isso tem

feito com que a morfometria ganhe espaço na área de análises botânicas (VISCOSI; CARDINI, 2011) e proporcione novas avaliações sobre espécies de plantas, com enfoque para a conservação.

Dessa maneira, tomando o complexo estuarino Real-Piauí-Fundo, litoral sul sergipano, como ambiente de análise científica, os mangues *A. schaueriana*, *L. racemosa* e *R. mangle*, foram investigados quanto às variações morfoanatômicas foliares que possuem ao distribuírem-se no complexo estuarino, subdividido em: estuários inferior (próximo da foz do rio) médio (região intermediária do rio) e superior (mais distante da foz) (DUKE, 1990).

Nessa perspectiva, este artigo teve por objetivo verificar a ocorrência de variações de forma e tamanho das folhas das populações de mangues nos estuários inferior, médio e superior do complexo estuarino Real-Piauí-Fundo, no litoral sul de Sergipe, a fim de examinar a plasticidade fenotípica das folhas e de que maneira os padrões de variação estão relacionados aos fatores sedimentológicos, climáticos e de salinidade da água.

4.2 PLASTICIDADE FENOTÍPICA VERSUS SOLO E CLIMA

Os nutrientes dos mangues estão localizados nos solos do manguezal (ALONGI, 2002). Por outro lado, as espécies distribuem-se em função das proporções relativas dos distintos elementos, que são particulares para cada espécie, necessários à sobrevivência (LARCHER, 2000).

Nas análises de Tomlinson (1986), a composição do solo pode ser considerada como o parâmetro mais precioso quando se trata da avaliação distributiva dos mangues. Apesar dos valores de pH e de matéria orgânica terem a sua contribuição na zonação dos mangues, são considerados parâmetros que se modificam em função das variações das marés, ficando a cargo de outros fatores abióticos a responsabilidade pela formação dos grupamentos de mangues, a exemplo da salinidade e a composição mineral do sedimento (ODUM, 1988).

Ao considerar que a nutrição do solo é um fator limitante à distribuição dos manguezais, as propriedades físicas e químicas do solo podem ser refletidas também na nutrição foliar (VITOUSEK; SANFORD, 1986).

A respeito da composição dos sedimentos, os principais elementos nutrientes, denominados macronutrientes (N, P, K, Ca e Mg)⁷ são requeridos em altas quantidades com o propósito de suprir as necessidades da planta, por outro lado, os elementos-traço (Fe, Mn, Zn, Cu, Mo, B e Cl)⁸ são exigidos em quantidades reduzidas, apesar da importância que têm para as plantas e da impossibilidade de substituição destes (LARCHER, 2000). Ademais, existem elementos que são extremamente essenciais às plantas, como é o caso do Na (sódio) para os mangues.

A relação entre o clima e a planta também tem sido investigada do ponto de vista da plasticidade fenotípica. Royer et al. (2008) divulgaram um trabalho sobre a relação entre as respostas plásticas das plantas em relação a um gradiente de temperatura com propósitos de reconstrução de paleoclimas, a partir de fósseis de folhas de uma determinada espécie de planta. Isso porque uma forma das plantas responderem às mudanças climáticas está na capacidade plástica que possuem. Assim, compreender as respostas plásticas é uma importante estratégia de prever e até mesmo de gerenciar efeitos do clima (NICOTRA et al., 2010).

Nesse contexto, o entendimento da influência das funções dos componentes do solo e do clima, sobre a forma e tamanho das folhas de mangues, torna-se crucial para as investigações plásticas do fenótipo da flora.

4.3 MATERIAL E MÉTODOS

Nesta seção serão descritas as localidades e os procedimentos de coleta do material de análise. Nessa lógica, serão também destacados: dados e análise dos fatores bióticos e abióticos investigados, análise da relação entre parâmetros sedimentológicos e a distribuição das espécies ao longo do complexo estuarino, além da coleta e análise dos dados para avaliação morfométrica.

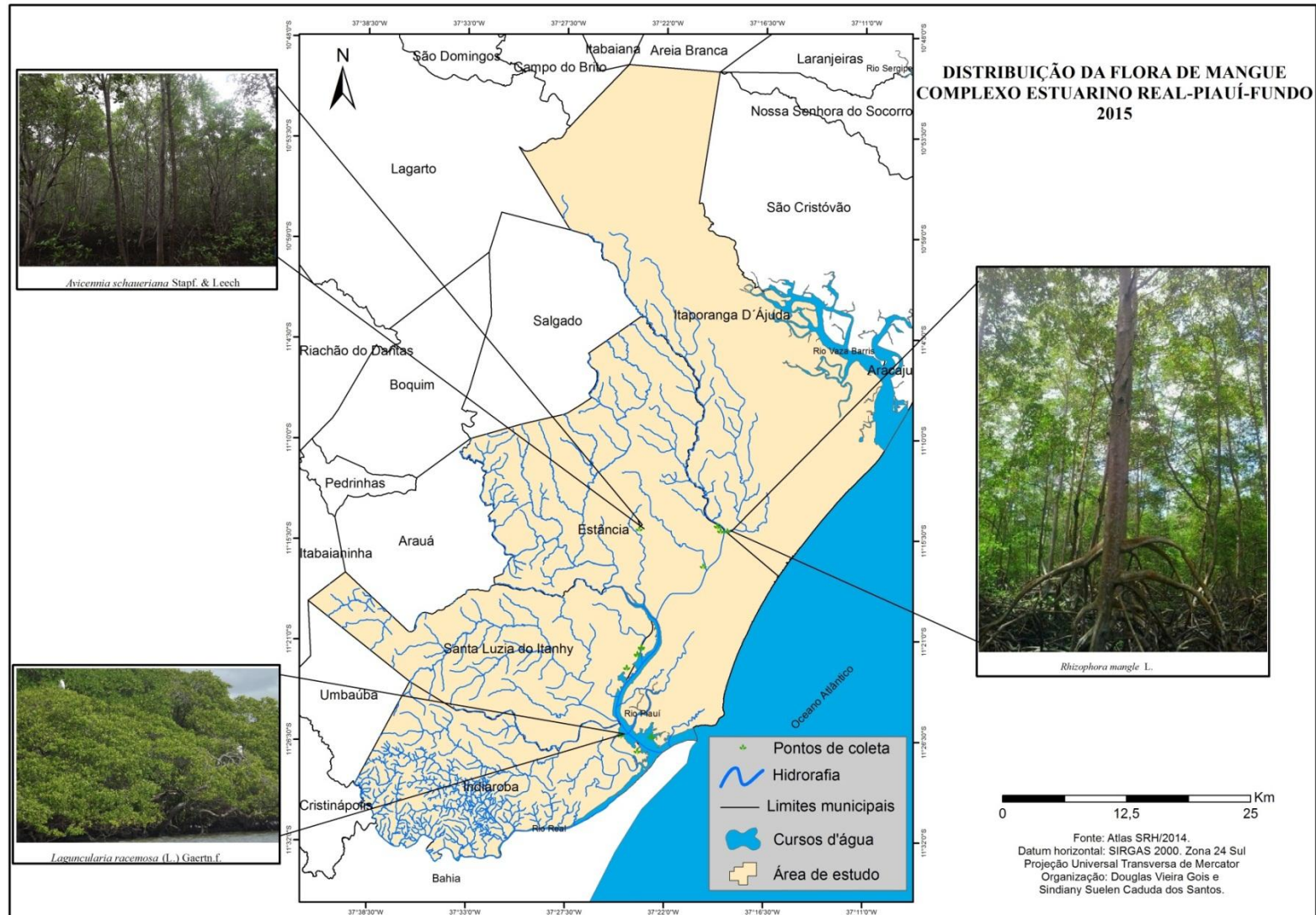
4.3.1 Área de estudo

Foram estabelecidos pontos de coleta para cada espécie de mangue nos estuários inferior, médio e superior do complexo estuarino Real-Piauí-Fundo, Sergipe, Brasil, consoante a figura 4.1.

⁷ N(nitrogênio), P (fósforo), K (potássio), Ca (cálcio) e Mg (magnésio).

⁸ Fe (ferro), Mn (manganês), Zn (zinco), Cu (cobre), Mo (molibdênio), B (boro) e Cl (cloro).

Figura 4.1: Distribuição da flora de manguezal no complexo estuarino Real-Piauí-Fundo: *Avicennia schaueriana*, *Laguncularia racemosa* e *Rhizophora mangle*.



4.3.2 Dados e análise dos fatores bióticos investigados

Durante os períodos de maré baixa (0.0 a 0.4), entre os meses de janeiro e maio de 2014; e novembro de 2014 a fevereiro de 2015, uma planta fértil de cada espécie de mangue (*A. schaueriana*; *R. mangle* e *Laguncularia racemosa*), foi georreferenciada, por meio do Global Positioning System – Sistema de Posicionamento Global (GPS portátil, Garmin eTrex 10), DATUM do Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas - SIRGAS 2000, e coletada, em cada estuário investigado, com auxílio de tesoura de poda e/ou podão. As amostras foram colocadas em folha de jornal (84 centímetros de comprimento x 50 centímetros de largura) individualmente, acompanhadas externamente de uma folha de papelão em cima e outra no verso sucessivamente. Em seguida, as amostras foram empilhadas, prensadas em prancha de madeira e amarradas com barbante grosso, seguindo as normas de coleta de material botânico indicadas pelo herbário da Universidade Federal de Sergipe.

No laboratório do herbário ASE/UFS, as amostras de plantas foram secadas em estufa a gás ou elétrica. Feito isso, após a secagem, os demais procedimentos foram feitos no laboratório (identificação, montagem, registro e incorporação da amostra). Os exemplares coletados foram depositados nas coleções do herbário.

4.3.3 Dados e análise dos fatores abióticos investigados

Também foram recolhidas amostras de 0,5 quilogramas de sedimento em todas as áreas de coleta das espécies. Em cada localidade de mangue amostrado, a colheita foi feita em 4 pontos (Tabela 4.1), na direção margem do rio - continente, totalizando em 12 pontos de coleta por estuário e 36 pontos para análise, ao total. Em cada ponto foram feitas 5 repetições usando o tubo de PVC de cinco centímetros de diâmetro, a uma profundidade de 0 – 20 centímetros. Em seguida, as amostras foram alocadas em sacos plásticos previamente identificados e levadas para o laboratório de análises físico-química do Instituto Tecnológico de Pesquisa de Sergipe (ITPS).

Para análise da salinidade da água, foram coletadas amostras de água (Tabela 4.1) nos mesmos pontos de coleta de solo, tanto na maré mais baixa do dia (variação entre 0.0 a 0.4), como na maré mais alta, no final do trabalho de campo do dia (acima de 0.4). Eram feitas cavidades manuais no solo onde foram colocados recipientes de

polietileno, previamente identificados e em seguida vedados e colocados em caixa de isopor com gelo.

Tabela 4.1: Pontos de coleta de sedimentos/água *Avicennia schaueriana*, *Laguncularia racemosa* e *Rhizophora mangle* no complexo estuarino Real-Piauí-Fundo, Sergipe.

Espécie/Estuário	Localidade	Ponto 1		Ponto 2		Ponto 3		Ponto 4	
		Long.	Lat.	Long.	Lat.	Long.	Lat.	Long.	Lat.
AI	Estância	-37.37672	-11.43844	-37.37689	-11.4383	-37.37725	-11.43808	-37.37753	-11.43789
LI	Indiaroba	-37.40571	-11.43682	-37.40582	-11.43676	-37.40598	-11.43666	-37.40619	-11.43664
RI	Indiaroba	-37.39024	-11.45098	-37.39032	-11.45112	-37.39031	-11.45105	-37.39044	-11.45127
AM	Estância	-37.38706	-11.35723	-37.387	-11.35687	-37.3869	-11.35657	-37.38686	-11.3564
LM	Santa Luzia do Itanhy	-37.39059	-11.36273	-37.39075	-11.36335	-37.39072	-11.36303	-37.39067	-11.36278
RM	Santa Luzia do Itanhy	-37.40051	-11.37548	-37.40051	-11.37533	-37.40026	-11.37525	-37.40016	-11.37519
AS	Estância (Rio Fundo)	-37.33028	-11.28245	-	-	-	-	-	-
LS	Itaporanga D'Ajuda (Rio Fundo)	-37.31709	-11.24596	-37.31723	-11.24582	-37.31749	-11.24568	-37.31763	-11.24573
RS	Estância (Rio Fundo)	-37.31424	-11.2502	-37.31443	-11.25	-37.30819	-11.25035	-37.38952	-11.24885

Avicennia schaueriana nos estuário inferior (AI), médio (AM) e superior (AS). *Laguncularia racemosa* nos estuários inferior (LI), médio (LM) e superior (LS). *Rhizophora mangle* nos estuários inferior (RI), médio (RM) e superior (RS).

Fonte: Elaborado por Sindiany Santos (2015), a partir dos trabalhos de campo.

Os dados climatológicos foram obtidos a partir do banco de dados das estações de clima monitoradas pelo Centro de Meteorologia da Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos de Sergipe, que disponibilizou os dados provenientes do levantamento de 30 anos de monitoramento (1980 – 2010). Para análise, após a coleta de sedimento, todas as amostras foram encaminhadas para o Instituto Tecnológico de Pesquisa de Sergipe, onde os parâmetros de interesse e os respectivos métodos de avaliação estão descritos a seguir:

- a) Análise do pH em solo - através do método MAQS- Embrapa;
- b) Análise granulométrica – por meio do método de densímetro de Bouyoucos; e especificação para o tipo de solo através do método MAPA-IN n° 02 09/10/2008;
- c) Classificação quanto à salinidade – análise realizada em amostra de terra fina seca em estufa a 40° C (MAQS-EMBRAPA,1999);
- d) Matéria orgânica – WB (colorimétrico);
- e) Cálcio + Magnésio, Cálcio, Magnésio, Alumínio – método cloreto de potássio;
- f) Sódio, Potássio, Fósforo – Mehlich – 1;
- g) Micronutrientes (Ferro, Cobre, Manganês e Zinco) - Mehlich – 1 (AA).

No tocante a água coletada em campo, o material foi conduzido, logo após à coleta, para a Universidade Federal de Sergipe onde foi analisada a salinidade com o uso do refratômetro portátil Brix do laboratório de bentos da UFS. Ao ser calibrado com água destilada e com o auxílio de um conta-gotas, a água coletada foi analisada.

Quanto aos dados climatológicos, foram utilizados os valores médios dos últimos 30 anos do parâmetro que mais interfere na distribuição dos mangues, conforme a literatura e os resultados obtidos a partir da modelagem de distribuição de espécies: temperatura mínima, máxima e compensada (média realizada pelo CEMESE-SE, 2012).

4.3.4 Análise dos dados sedimentológicos e a distribuição das espécies ao longo do complexo estuarino

A correlação da distribuição dos fatores do solo (pH, granulometria, salinidade e fertilidade completa) em relação a cada estuário (EI, EM e ES) foi avaliada a partir da análise multivariada de Componentes Principais (ACP) no programa estatístico livre

PAST (versão 2.17c). Na primeira análise exploratória foi observado que todas as variáveis interferiam na distribuição das espécies, o que levou a utilização de todas as variáveis no processo analítico de tendência de variação dos elementos abióticos em relação às espécies.

4.3.5 Coleta de dados e análise morfométrica

Para realização das análises morfométricas, foram amostradas folhas de três populações para cada espécie de mangue (*A. schaueriana*; *R. mangle*; *L. racemosa*), totalizando em nove populações que se distribuem ao longo do complexo estuarino Real-Piauí-Fundo, nos estuários inferior, médio e superior.

Em cada área amostral foram observados os indivíduos que tivessem altura igual ou superior a 3 metros e que apresentassem aspecto saudável. A partir disso, foram escolhidos 20 indivíduos, aleatoriamente, em cada população, e, em seguida, retiradas 10 folhas de cada árvore do mangue eleito. Dessa forma, o propósito para cada espécie foi obter amostras de 600 folhas em cada estuário, totalizando o valor de 1.800 folhas em relação à amostra de 60 árvores, incluindo as três espécies, em todo o complexo estuarino.

Contudo, durante as coletas no estuário superior, o número de árvores da *A. schaueriana* mostrou-se reduzido em relação às outras localidades e, apenas 5 indivíduos foram encontrados. Assim, para esta espécie, no estuário superior foram coletadas apenas 50 folhas no total.

Este cenário explica a amostra real da análise, com valor total de 1.650 folhas amostradas, correspondentes as 60 árvores no estuário inferior, 60 no médio e 45 no superior.

A tabela 4.2 ilustra a composição dos dados para análise. Saliente-se que os dados georreferenciados, indicativos das áreas de coleta, são apenas pontos de referência onde as 20 árvores de cada espécie foi coletada em seus respectivos estuários.

Tabela 4.2: População das espécies de mangues *Avicennia schaueriana*, *Laguncularia racemosa* e *Rhizophora mangle* e amostras de folhas investigadas no complexo estuarino Real-Piauí-Fundo, Sergipe.

Estuário	Espécie	População	Município	Número de árvores	Número de folhas	Longitude (Y)	Latitude (X)
Inferior	<i>Avicennia schaueriana</i>	Rio Piauí	Estância	20	200	-37.37672	-11.43844
	<i>Laguncularia racemosa</i>	Próxima à Terra Caída	Santa Luzia do Itanhy	20	200	-37.40571	-11.43682
	<i>Rizophora mangle</i> L	Terra Caída	Santa Luzia do Itanhy	20	200	-37.39024	-11.45098
Médio	<i>Avicennia schaueriana</i>	Próximo à Ilha das Graças	Estância	20	200	-37.38706	-11.35723
	<i>Laguncularia racemosa</i>	Próximo à Ilha das Graças	Santa Luzia do Itanhy	20	200	-37.39059	-11.36273
	<i>Rizophora mangle</i> L	Próximo à Ilha das Graças	Santa Luzia do Itanhy	20	200	-37.40051	-11.37548
Superior	<i>Avicennia schaueriana</i>	Rio Fundo	Estância	5	50	-37.33028	-11.28245
	<i>Laguncularia racemosa</i>	Rio Fundo	Itaporanga D'Ajuda	20	200	-37.31709	-11.24596
	<i>Rizophora mangle</i> L	Rio Fundo	Estância	20	200	-37.31424	-11.2502

Fonte: Elaborado por Sindiany Santos (2015), a partir dos trabalhos de campo.

No campo, as folhas coletadas foram acondicionadas em sacos plásticos que continham tanto a identificação da árvore amostrada, como do estuário correspondente. Em seguida, elas foram levadas para o laboratório de genética molecular da Universidade Federal de Sergipe, onde foram dispostas na base interna do transluminador L-Pix, com superfície adaxial exposta e uma escala milimétrica anexada. Em seguida, elas foram fotografadas com a câmera do transluminador, posicionada verticalmente à folha para evitar deformação na captura da imagem (Figura 4.2).

Figura 4.2: Folha e régua posicionadas no Transluminador L-Pix.



Fonte: Sindiany Santos (2014).

4.3.5.1 Caracteres morfológicos

Foram escolhidos 19 pontos de referência. Os marcos anatômicos correspondem aos pontos de localização biologicamente homólogos entre espécimes (GUNZ; MITTEROECKER, 2013). Deste modo, foram estabelecidos 3 marcos anatômicos na estrutura foliar que melhor representavam as homologias: os marcos 1 e 2 correspondem, respectivamente, à junção do pecíolo à nervura principal, e o marco 3, representa o ponto mais distal da veia principal. Para os 16 semimarcos estabelecidos de forma equidistante, foram consideradas as margens das folhas (Figura 4.3). Os semimarcos permitem quantificar curvas e superfícies homólogas de duas ou três dimensões e analisá-las em conjunto (GUNZ; MITTEROECKER, 2013). O quadro 4.1 apresenta a descrição detalhada dos pontos anatômicos.

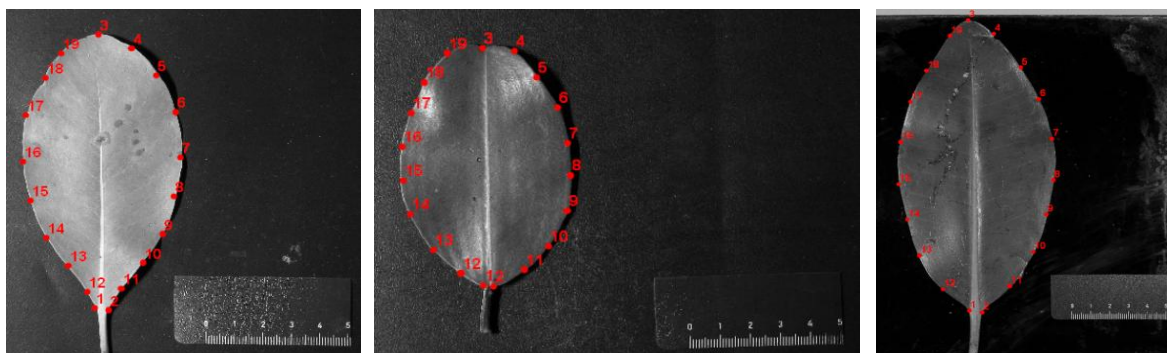
Quadro 4.1: Descrição dos marcos e semimarcos anatômicos das folhas dos mangues *Avicennia schaueriana*, *Rhizophora mangle* L e *Laguncularia racemosa*

Marco anatômico (<i>Landmark</i>)	Descrição
1 e 2	Junção da lâmina foliar ao pecíolo da folha, referente ao início da veia primária.
3	Ápice da lâmina foliar, referente ao término da veia primária.
Semimarcos (<i>Semilandmarks</i>)	Descrição
4 – 19	Margem das folhas

Fonte: Elaborado por Sindiany Santos (2015)

As imagens obtidas a partir da câmera do transluminador foram importadas dentro do software livre TpsDig (ROHLF, 2010), que foi utilizado para fazer as marcações tanto dos marcos anatômicos como dos semimarcos, gerando uma configuração de 38 coordenadas, equivalentes aos 19 pares (x , y) para cada folha. Os dados para as 1.650 folhas amostradas foram salvos no formato “Tps”.

Figura 4.3: Posição dos três marcos anatômicos (1- 3) e dos dezesseis semimarcos (4 – 19), respectivamente, nas folhas de *Avicennia schaueriana*, *Laguncularia racemosa* e *Rhizophora mangle*.



Fonte: Elaborado por Sindiany Santos (2015), a partir dos trabalhos de campo e das análises no *software* Tps Dig.

As análises foram realizadas a partir do uso das técnicas de morfometria geométrica, tomando como base teórica os trabalhos de Viscosi e Cardini (2011), Klingenberg et al. (2012), Silva et al. (2012), Vieira et al. (2014), Viscosi (2015) e Klingenberg (2015).

Os arquivos construídos para cada espécie de mangue, salvos no formato “Tps”, foram importados, por espécie, para o *software* livre Tps Util onde foi possível diferenciar os marcos e semimarcos anatômicos. Em seguida, no Tps Rewl foi feito o alinhamento dos marcos e semimarcos de cada espécie de mangue. Posteriormente, para análise da forma da folha, no *software* livre MorphoJ (KLINGENBERG, 2011), foi feita a sobreposição de Procrustes e análise do componente simétrico. Em seguida, fez-se uma análise exploratória para verificar as variações por indivíduos da mesma espécie, em cada população, e por estuário. A partir disso, observou-se que existiam diferenças entre os indivíduos tanto dentro das populações, como também entre as populações de estuários distintos, o que levou a decisão de trabalhar com os valores da média por indivíduos. Dessa forma, após adicionar as covariáveis, foi feita a média por indivíduos para realização de todas as análises. Dando continuidade, foi gerada a matriz de covariância do componente simétrico, para posterior análise de componentes principais (ACP) para cada mangue investigado. A ACP foi utilizada para identificar a variação global das coordenadas dos marcos e semimarcos e identificar as tendências mais expressivas de variação na forma das folhas de cada mangue, por estuário, o que foi possível observar nas formas mínima, média e máxima através da técnica *thin-plate-*

spline. A análise de ACP também foi realizada no programa estatístico PAST (versão 2.17c), a partir dos valores médios, por indivíduo, analisados no MorphoJ. Ainda neste programa, foi realizado o teste estatístico Análise Discriminante (AD), com o intuito de verificar a separação dos grupos, conhecidos *a priori*, por espécie de mangue, para cada estuário, também utilizando os valores médios dos indivíduos. Além da análise multivariada de ACP feita no PAST, neste software estatístico foi realizada a análise de agrupamento (*cluster-analysis*), utilizando a média por estuário, extraída do MorphoJ.

Dentro do MorphoJ foram inseridas todas as covariáveis a serem analisadas na investigação científica, tanto em relação à forma, como em relação ao tamanho da folha dos mangues: análise do tamanho do centroide; análise de sedimento (granulometria, pH, matéria orgânica, macronutrientes, micronutrientes, capacidade de troca catiônica e condutividade elétrica); análise de clima (precipitação média anual); salinidade da água na maré baixa e alta.

Nesse sentido, foi feita análise de regressão linear com teste de 1.000 permutações, por estuário, para averiguar a relação entre forma e tamanho do centroide, a fim de observar se existia efeito de alometria. Este teste estatístico tem por interesse entender como determinadas variáveis interferem em outra variável, mudando o comportamento desta (MINGOTI, 2005). No PAST também foi feita a análise de variações de tamanho, independente da forma, por estuário. Para isso, foi feita uma análise de variância simples (*One-way-Anova*).

Para verificar se existia interferência dos parâmetros abióticos supracitados na forma e no tamanho das folhas dos mangues, foi feita análise de regressão linear, com teste de 1.000 permutações, no MorphoJ.

4.4 RESULTADOS

Nesta seção serão apresentados os resultados concernentes à avaliação dos fatores físico-químicos em cada estuário e a relação destes com a flora de manguezal estudada, bem como a análise do padrão de variação morfométrica das folhas no complexo estuarino e a relação entre parâmetros abióticos e a morfometria foliar.

4.4.1 Distribuição das espécies em relação às características do sedimento e salinidade da água

Quanto às análises de granulometria, o estuário inferior tem composição siltosa para as três espécies de mangue. O estuário médio também se destaca pela composição siltica, com exceção do solo para *R. mangle*, que é arenoso. No estuário superior o solo arenoso abriga todos os mangues investigados.

Os sedimentos do estuário inferior são considerados básico, com valores de pH da água para as três espécies com variações em torno de 7.4 até 8. Já no estuário médio os sedimentos são classificados como ácidos, tanto para *A. schaueriana*. (pH= 6.3) como para *R. mangle* (pH= 5.5). A *L. racemosa*, neste último estuário apresentou solo básico (pH= 7.23). No estuário superior os solos revelaram-se ácidos, com valores de 4.9 até 5.3. O pH da pasta também permitiu a mesma classificação dos solos identificada na análise de pH da água.

Quanto à matéria orgânica, ocorreram variações significativas para as três espécies em seus distintos estuários. Contudo, para *A. schaueriana* e *R. mangle* a maior quantidade de matéria orgânica situou-se no estuário médio. Já a *L. racemosa* apresentou os valores mais altos do fator abiótico no estuário inferior.

Quanto aos nutrientes, no geral, as análises químicas mostraram variação para as três espécies e permitiram concluir que para *A. schaueriana* a quantidade de macronutrientes ocorreu na ordem: estuário médio > estuário inferior > estuário superior. Para cada estuário destacaram-se os macronutrientes: fósforo para o inferior e médio e magnésio no superior. Para a *L. racemosa* é possível ver a ordem: estuário inferior > estuário médio > estuário superior, sendo que o fósforo foi o elemento de maior ocorrência nas três localidades de ocorrência da espécie. No que se refere à *R. mangle*, foi possível observar, quanto aos macronutrientes: estuário superior > estuário inferior > estuário médio, sendo que o fósforo destacou-se como principal elemento nos estuários inferior e superior, enquanto isso no estuário médio, tanto o fósforo como o cálcio foram elementos de maior quantidade entre os outros investigados. Apesar das variações em cada estuário, de modo geral, para cada espécie, a soma resultante da quantidade de macronutrientes por estuário, envolvendo as três espécies, mostrou que existe um padrão de ocorrência de P> Mg> Ca> K, tanto no estuário inferior, como no médio e no superior.

Sobre o elemento essencial Na (sódio), foi observado o maior quantitativo no estuário inferior, seguido do médio e do superior. Além disso, no inferior a quantidade de sódio foi maior na localidade de coleta da *A. schaueriana*, depois no ambiente de estudo da *L. racemosa* e seguido da área da *R. mangle*. A concentração em relação às espécies foi a mesma do estuário médio, mas no superior, o teor de Na ocorreu na ordem: *R. mangle* > *L. racemosa* > *A. schaueriana*.

Ainda no âmbito dos nutrientes, as análises químicas para os micronutrientes também revelaram variações nos resultados entre os estuários para cada espécie. Para *A. schaueriana* a quantidade de micronutrientes segue a ordem: estuário médio > estuário inferior > estuário superior. Sendo que o valor da média referente à presença do ferro destaca-se em todas as localidades pesquisadas. O resultado para *L. racemosa* foi: estuário inferior > estuário médio > estuário superior. Mais uma vez a quantidade de ferro presente foi superior nos três estuários. Quanto à *R. mangle*, a quantidade de micronutrientes apresentou a configuração: estuário médio > estuário superior > estuário inferior. O ferro também foi o micronutriente de maior valor para este mangue nos três estuários. A soma resultante da quantidade de micronutrientes por estuário, envolvendo as três espécies, revelou as concentrações na seguinte ordem: Fe > Mn > Zn > Cu.

Quanto ao elemento alumínio, os valores para todas as espécies ficaram abaixo de 0.5 (Tabela 4.3), o que é considerando baixo, segundo o ITPS (2007).

No que se refere à capacidade de troca catiônica (CTC), foram identificadas diferenças para cada espécie. Para *A. schaueriana* a ordem: médio > inferior > superior. Para a *L. racemosa* a ordem foi: estuário inferior > estuário médio > estuário superior. Já para a *R. mangle*, destacou-se: estuário superior > estuário médio > estuário inferior.

Quanto à salinidade, os solos foram classificados como salino sódico (ITPS, 2015). A condutividade elétrica revelou que a salinidade para *A. schaueriana* e *R. mangle* seguem a ordem decrescente estuário médio > estuário inferior > estuário superior. Na *L. racemosa* observa-se: estuário inferior > estuário médio > estuário superior. Dessa maneira, o estuário superior é o menos salino entre as três localidades.

Quanto à salinidade da água, é possível observar que as maiores variações de salinidade entre a maré baixa e maré alta, para as três espécies, ocorrem na ordem: estuário médio (10% a 15%), estuário inferior (5%) estuário superior (2% a 3%).

Tabela 4.3: Valores médios de parâmetros físicos e químicos de solo/água para *Avicennia schaueriana*, *Laguncularia racemosa*, *Rhizophora mangle* nos estuários inferior, médio e superior do complexo estuarino Real-Piauí-Fundo, Sergipe.

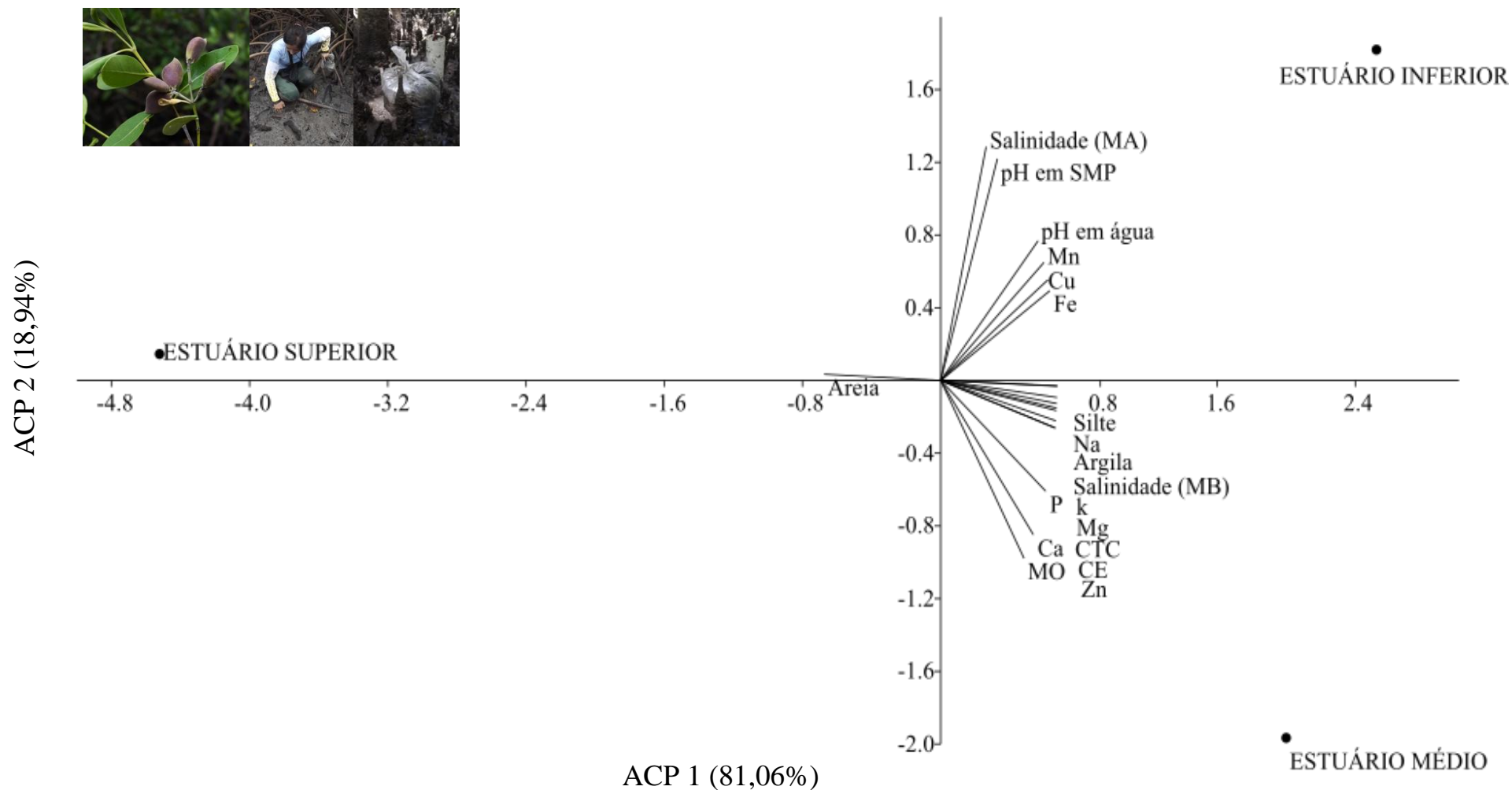
	<i>Avicennia schaueriana</i>			<i>Laguncularia racemosa</i>			<i>Rhizophora mangle</i>		
	EI	EM	ES	EI	EM	ES	EI	EM	ES
Granulometria	Silte> areia> argila	Silte> areia> argila	Areia> argila> silte	Silte> areia> argila	Silte> areia> argila	Areia> silte> argila	Silte > areia> argila	Areia> silte> argila	Areia >silte> argila
pH em H ₂ O	8.07	6.3	5.2	7.4	7.2	5.3	7.6	5.5	4.9
pH em SMP	7.7	6.6	6.7	7.7	7.7	6.7	7.7	6.2	6.1
Matéria orgânica-MO (g/dm ³)	36	62.7	22.4	41.3	38	34.9	26	51.4	45.7
Sódio (Na)	45	43	10	41.3	31.9	21.5	17	24.8	31.8
Cálcio (Ca)	7.46	12.1	3.73	9.13	7.88	4.98	9.88	10.7	8.37
Magnésio (Mg)	15.4	15.9	7.37	13.7	11.5	10.8	4.62	8.9	11.1
Potássio (K)	2.29	2.34	0.54	1.88	1.47	1.11	0.96	1.14	1.26
Fósforo (P)	19.4	25.5	9.4	38.2	32.9	13.5	16.8	10.7	15
Ferro (Fe)	2714	2029	1072	2095	1511	1236.7	1284	3269	1501.7
Cobre (Cu)	1.57	1.09	0.52	0.99	0.83	0.79	0.64	2.46	0.97
Manganês (Mn)	127	64	6.61	74	85	3.6	90	80	7.2
Zinco (Zn)	6.2	6.74	2.64	6.25	6.65	5.79	4.21	8.39	7.47
Alumínio (Al)	<0.08	<0.08	<0.08	<0.08	<0.08	<0.08	<0.08	<0.08	0.20
Capacidade de troca catiônica (CTC)	70.9	76.2	24.3	66	52.8	40.2	32.5	48.4	55.6
Condutividade elétrica (CE) (dS/m a 25°)	92.3	103.9	16.2	84.4	66.8	30.4	57.6	60.6	53.8
Salinidade	0.35 – 0.30	0.35 – 0.20	0.25 – 0.22	0.30 – 0.25	0.35 – 0.20	0.22 – 0.20	0.35 – 0.30	0.30 – 0.20	0.25 – 0.22
maré baixa-maré alta (MB-MA)(ppm)									

EI (estuário inferior); EM (estuário médio); ES (estuário superior)

Fonte: Elaborado por Sindiany Santos (2015), a partir dos trabalhos de campo e dos dados fornecidos pelo Instituto de Tecnologia e Pesquisa de Sergipe (ITPS, 2015).

Quanto à distribuição dos componentes sedimentológicos nos estuários, a partir da análise de componentes principais (ACP), é possível visualizar a tendência de variação de todas as variáveis consideradas nas figuras 4.4, 4.5 e 4.6.

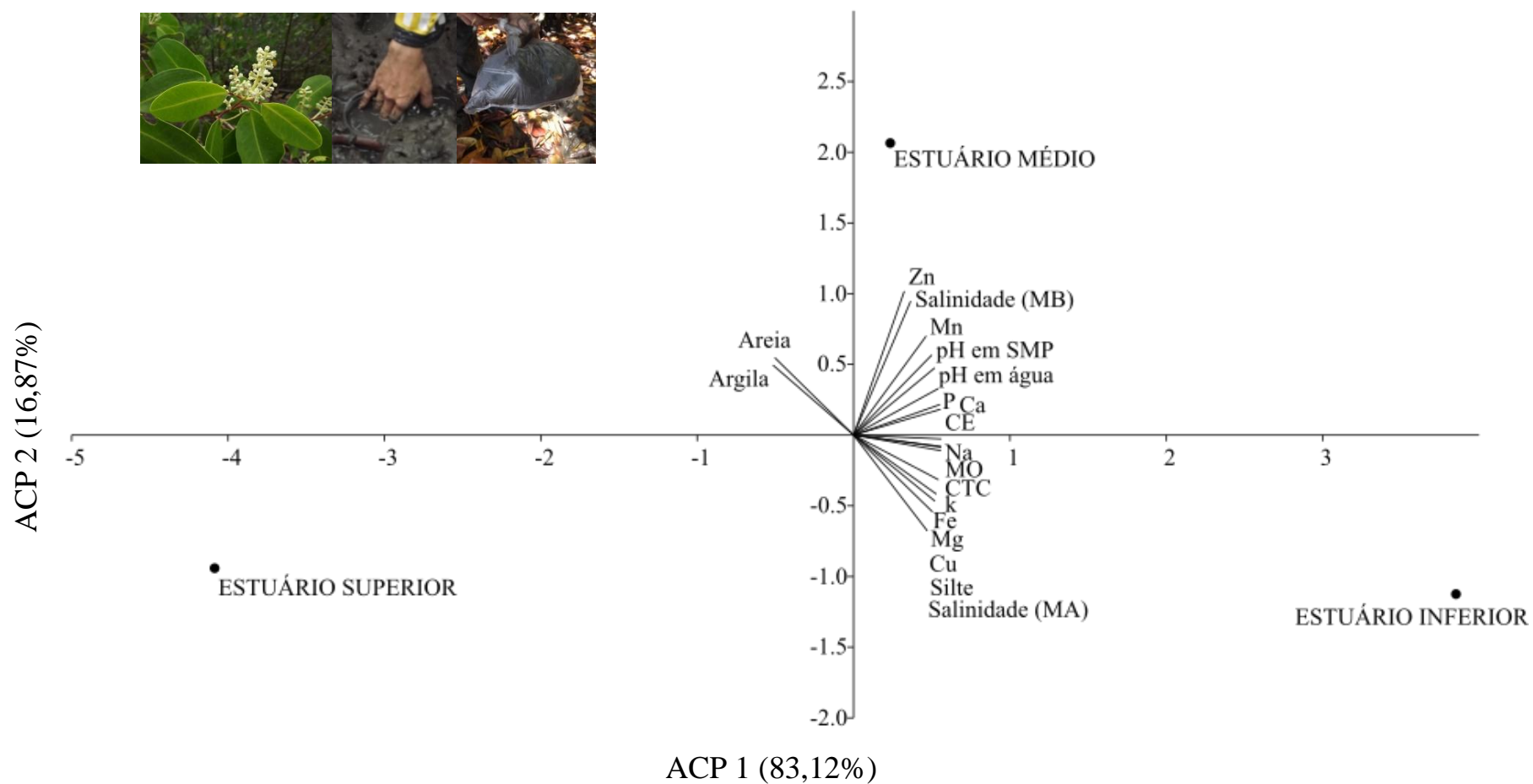
Figura 4.4: Análise de Componentes Principais, correlacionando as variáveis de solo e a espécie de *Avicennia schaueriana*, nos estuários inferior, médio e superior do complexo estuarino Real-Piauí-Fundo, Sergipe.



MA (maré alta); pH em SMP (pH da pasta); Mn (manganês); Cu (cobre); Fe (ferro); Na (sódio); MB (maré baixa); K (potássio); CTC (capacidade de troca catiônica); CE (condutividade elétrica); Zn (zinco); Ca (cálcio) MO (matéria orgânica).

Fonte: Elaborado por Sindiany Santos (2015), a partir dos trabalhos de campo e uso do software PAST.

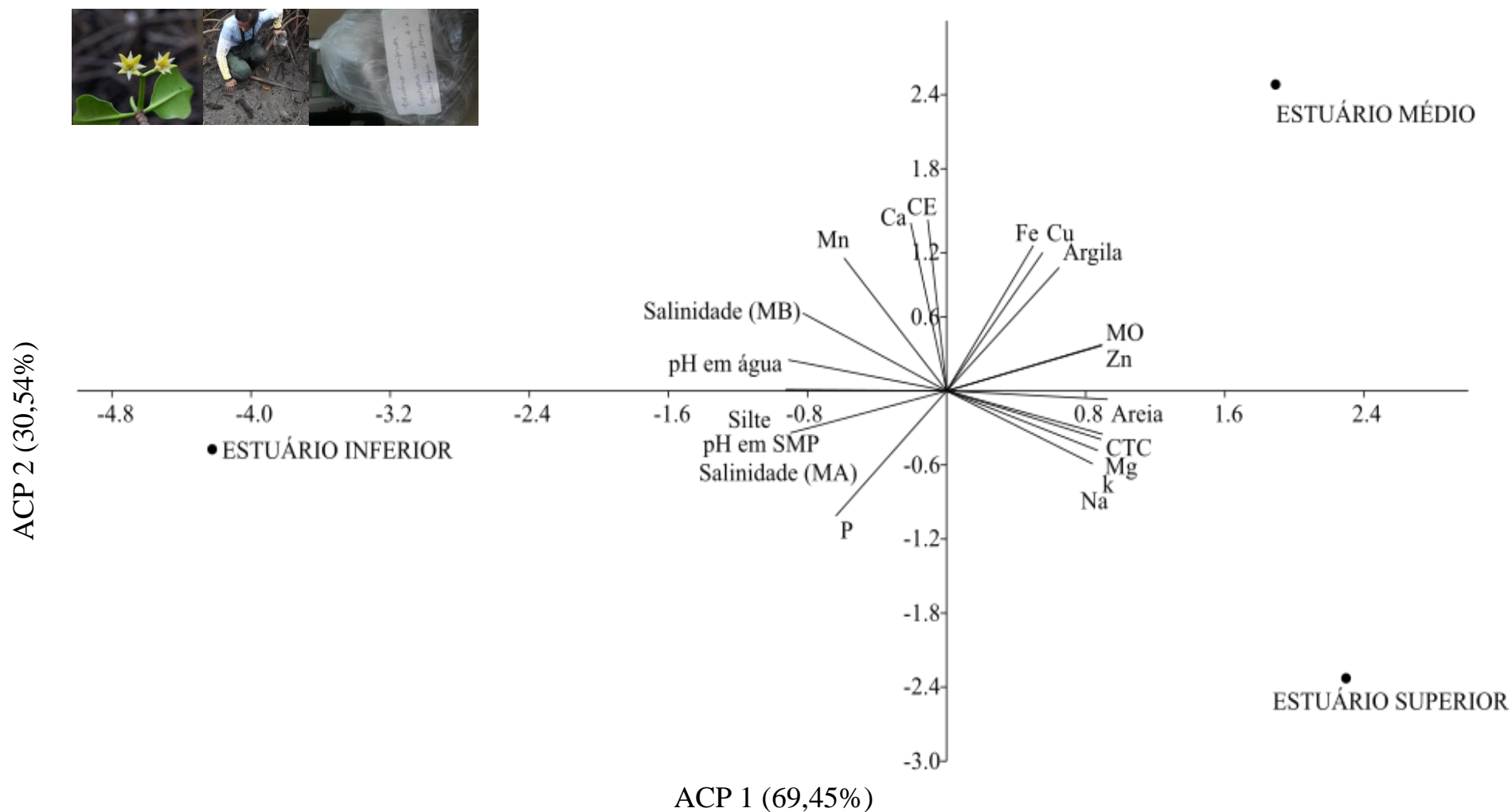
Figura 4.5: Análise de Componentes Principais, correlacionando as variáveis de solo e a espécie de *Laguncularia racemosa*, nos estuários inferior, médio e superior do complexo estuarino Real-Piauí-Fundo, Sergipe.



MA (maré alta); pH em SMP (pH da pasta); Mn (manganês); Cu (cobre); Fe (ferro); Na (sódio); MB (maré baixa); K (potássio); CTC (capacidade de troca catiônica); CE (condutividade elétrica); Zn (zinco); Ca (cálcio) MO (matéria orgânica).

Fonte: Elaborado por Sindiany Santos (2015), a partir dos trabalhos de campo e uso do software PAST.

Figura 4.6 Análise de Componentes Principais, correlacionando as variáveis de solo e a espécie de *Rhizophora mangle*, nos estuários inferior, médio e superior do complexo estuarino Real-Piauí-Fundo, Sergipe.



MA (maré alta); pH em SMP (pH da pasta); Mn (manganês); Cu (cobre); Fe (ferro); Na (sódio); MB (maré baixa); K (potássio); CTC (capacidade de troca catiônica); CE (condutividade elétrica); Zn (zinco); Ca (cálcio) MO (matéria orgânica).

Fonte: Elaborado por Sindiany Santos (2015), a partir dos trabalhos de campo e uso do software PAST.

Na avaliação da análise de componentes principais para as três espécies, as duas primeiras variáveis explicaram 100% da variação total entre os estuários para as espécies *A. schaueriana* e *L. racemosa*. Para as duas espécies, as variáveis sódio e condutividade elétrica influenciaram respectivamente os componentes um e dois. Todavia, no caso do primeiro mangue, as variáveis separaram o estuário médio, do inferior e do superior. No segundo caso, o sódio separa o estuário inferior do médio e do superior, enquanto a condutividade elétrica separa o médio do inferior e superior.

Para a *R. mangle*, duas variáveis apresentaram valores de contribuição similar (silte e pH em SMP) no primeiro componente e, associadas à condutividade elétrica que se destacou no segundo componente principal, as três explicaram 100% da variação total para a espécie. Para as três variáveis, houve uma tendência de separação do estuário inferior das demais localidades. A tabela 4.4 mostra as duas primeiras variáveis de maior influência sobre os dois primeiros componentes principais de cada espécie.

Tabela 4.4: Análise de Componentes Principais, correlacionando as variáveis de solo e as espécies de *Avicennia schaueriana*, *Laguncularia racemosa*, *Rhizophora mangle* nos estuários inferior, médio e superior do complexo estuarino Real-Piauí-Fundo, Sergipe.

Espécie	CP	Autovalores	Covariância%	Variância acumulada%	Fator de maior influência sobre o CP
<i>Avicennia</i>	1	15.4014	81.06	81.06	Na
<i>schaueriana</i>	2	3.59863	18.94	100	Condutividade elétrica
<i>Laguncularia</i>	1	15.7934	83.123	83.123	Na
<i>racemosa</i>	2	3.20658	16.877	100	Condutividade elétrica
<i>Rhizophora</i>	1	13.1959	69.452	69.452	Silte e pH em SMP
<i>mangle</i>	2	5.8041	30.548	100	Condutividade elétrica

Fonte: Elaborado por Sindiany Santos (2015), a partir dos trabalhos de campo e uso do software PAST.

Em resumo, é possível constatar, a partir da tabela 4.4, que os aspectos físico-químicos relacionados à salinidade (teor de Na e condutividade elétrica), à granulometria (silte) e ao pH em SMP, são fatores de extrema importância, entre os estuários, para a distribuição das espécies.

4.4.2 Análise do componente simétrico da forma foliar

As análises morfométricas mostraram que a forma da lâmina foliar variou entre as populações das espécies de mangues ao longo do complexo estuarino Real-Piauí-Fundo.

4.4.2.1 Análise de Componentes Principais

As principais tendências de variação das 1650 folhas (450 *A. schaueriana*, *L. racemosa* e *R. mangle*) analisadas foram exibidas por meio da análise de componentes principais através da matriz de covariância simétrica de cada espécie.

Os dois primeiros componentes principais já explicaram a variação simétrica da forma da folha, com valor a partir de 85%, para as respectivas espécies *A. schaueriana*, *L. racemosa* e *R. mangle* (Tabela 4.5).

Tabela 4.5: Variáveis de forma da lâmina foliar nas espécies de mangue. Análise de componentes principais (ACP) dos componentes de variação simétrica de 1650 folhas, com 19 pontos anatômicos (3 marcos e 16 semimarcos) alinhados de acordo com as coordenadas de Procrustes.

Espécie	Componentes principais	Autovalores	Variância%	Variância Acumulada%
<i>Avicennia schaueriana</i>	PC1	0.00041460	71.218	71.218
	PC2	0.00008506	14.611	85.828
	PC3	0.00004921	8.453	94.281
	PC4	0.00001260	2.165	96.446
	PC5	0.00000767	1.317	97.763
	PC6	0.00000468	0.804	98.567
	PC7	0.00000374	0.643	99.210
	PC8	0.00000165	0.284	99.494
	PC9	0.00000091	0.156	99.651
	PC10	0.00000077	0.132	99.782
	PC11	0.00000049	0.085	99.867
	PC12	0.00000039	0.067	99.934

Espécie	Componentes principais	Autovalores	Variância%	Variância Acumulada%
<i>Avicennia schaueriana</i>	PC13	0.00000020	0.034	99.968
	PC14	0.00000011	0.018	99.986
	PC15	0.00000005	0.008	99.995
	PC16	0.00000002	0.003	99.998
	PC17	0.00000001	0.002	100.000
<i>Laguncularia racemosa</i>	PC1	0.00053385	74.616	74.616
	PC2	0.00008158	11.403	86.019
	PC3	0.00005510	7.701	93.720
	PC4	0.00002484	3.472	97.192
	PC5	0.00000844	1.180	98.371
	PC6	0.00000396	0.554	98.925
	PC7	0.00000216	0.302	99.227
	PC8	0.00000178	0.249	99.477
	PC9	0.00000109	0.153	99.630
	PC10	0.00000081	0.113	99.742
	PC11	0.00000058	0.081	99.823
	PC12	0.00000053	0.074	99.897
	PC13	0.00000032	0.045	99.943
	PC14	0.00000019	0.027	99.969
	PC15	0.00000015	0.021	99.990
	PC16	0.00000005	0.006	99.996
	PC17	0.00000003	0.004	100.000
<i>Rhizophora mangle</i>	PC1	0.00063572	79.173	79.173
	PC2	0.00009012	11.224	90.397
	PC3	0.00004085	5.088	95.485
	PC4	0.00002005	2.494	97.982
	PC5	0.00000649	0.808	98.790
	PC6	0.00000291	0.363	99.153
	PC7	0.00000239	0.298	99.450
	PC8	0.00000154	0.192	99.642

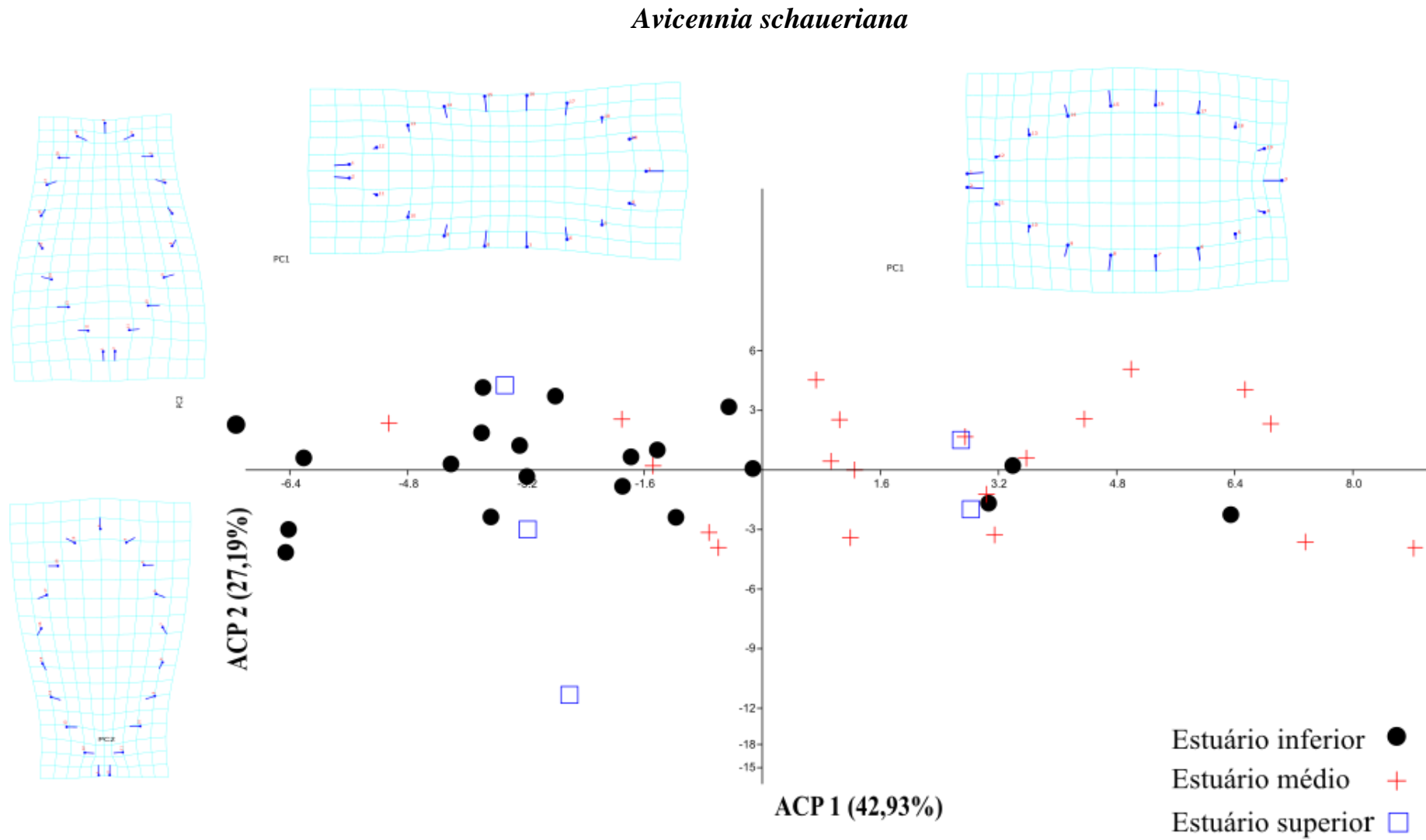
Espécie	Componentes principais	Autovalores	Variância%	Variância Acumulada%
<i>Rhizophora mangle</i>	PC9	0.00000122	0.152	99.794
	PC10	0.00000054	0.067	99.861
	PC11	0.00000048	0.060	99.921
	PC12	0.00000034	0.042	99.963
	PC13	0.00000017	0.021	99.984
	PC14	0.00000008	0.009	99.993
	PC15	0.00000003	0.004	99.997
	PC16	0.00000002	0.002	99.999
	PC17	0.00000001	0.001	100.000

Fonte: Elaborado por Sindiany Santos (2015), a partir do uso do *software* MorphoJ (KLINGENBERG, 2011).

Apesar da sobreposição observada para cada espécie e de não haver uma separação nítida entre os estuários, na *A. schaueriana* é possível identificar a tendência de separação entre os estuários inferior e médio, assim como na *L. racemosa* entre os estuários inferior e superior. Na *R. mangle*, a tendência de afastamento entre os grupos é maior em relação aos outros mangues, principalmente entre os estuários inferior e médio e daquele em relação ao superior.

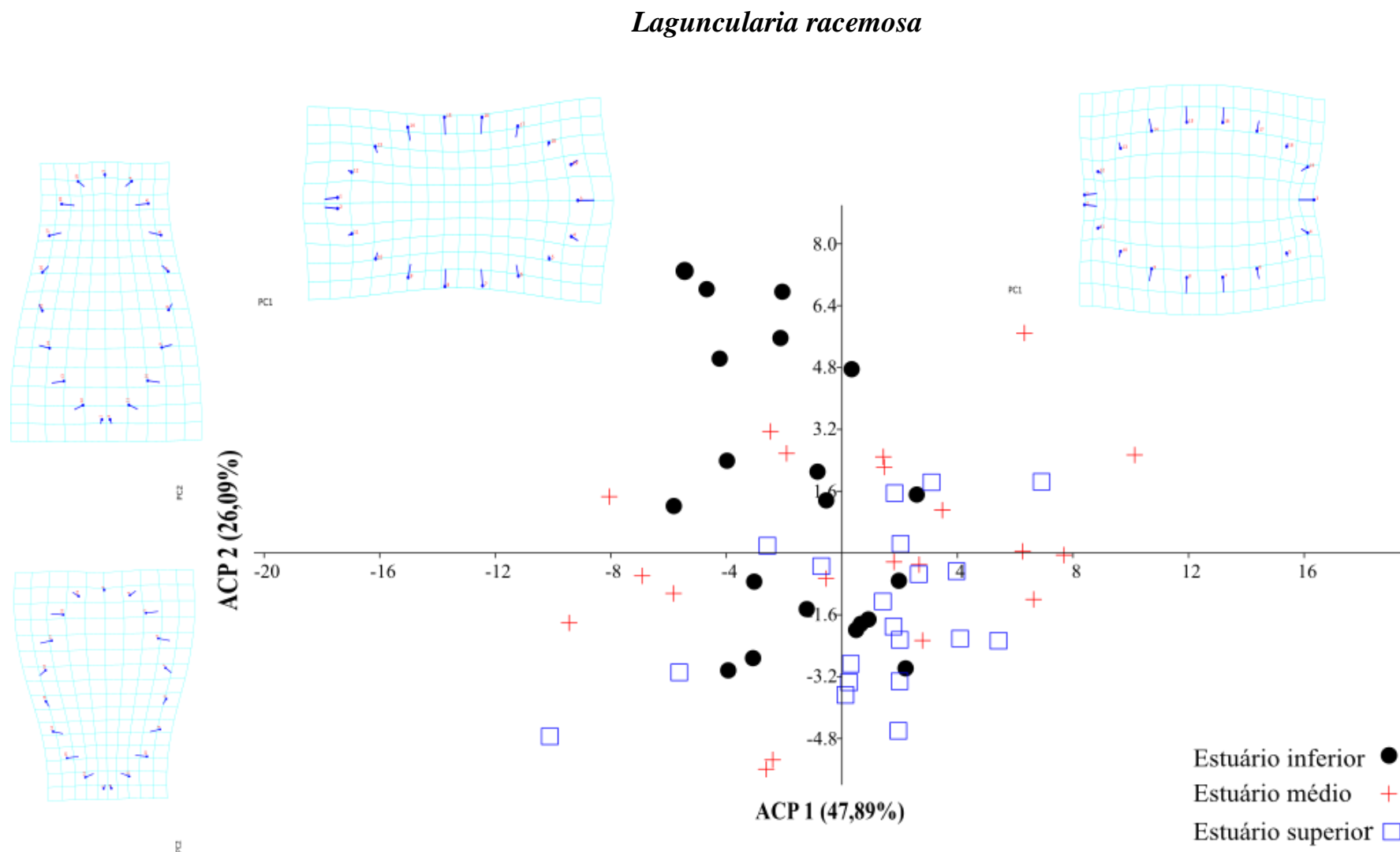
As variações de forma das três espécies são mostradas nas figuras 4.7, 4.8 e 4.9, onde também é possível visualizar, através da grade de deformação *Tin-platesplines*, a variação das distribuições das populações dos estuários inferior, médio e superior, a partir dos valores médios dos dois principais componentes (PC1 e PC2).

Figura 4.7: Análise de Componentes Principais (ACP) do componente simétrico da folha e distribuição das amostras coletadas para a espécie *Avicennia schaueriana* nos estuários inferior, médio e superior do complexo estuarino Real-Piauí-Fundo, Sergipe.



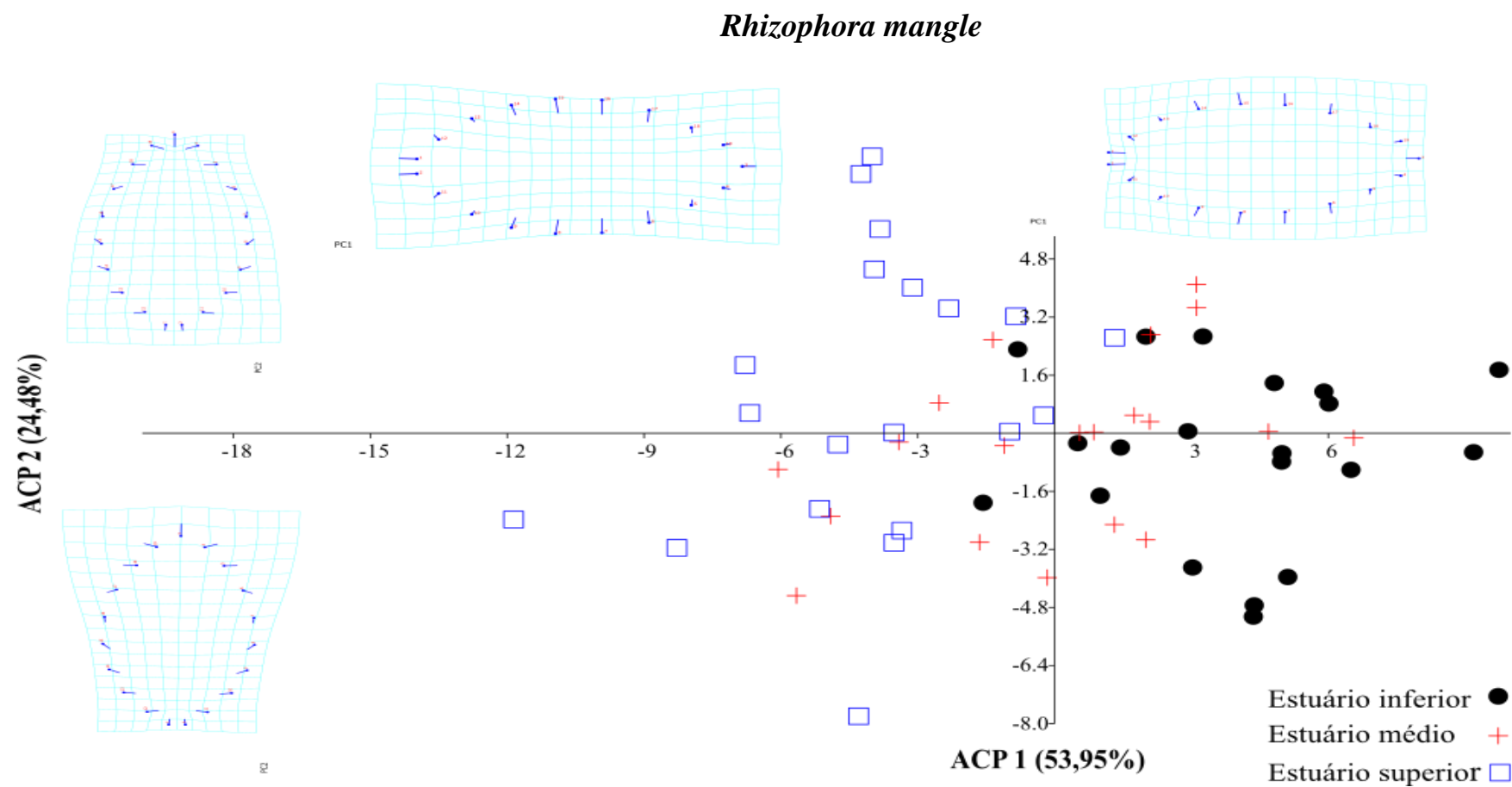
Fonte: Elaborado por Sindiany Santos (2015), a partir do uso dos *softwares* MorphoJ (KLINGENBERG, 2011), PAST e *Inkscape*.

Figura 4.8: Análise de Componentes Principais (ACP) do componente simétrico da folha e distribuição das amostras coletadas para a espécie *Laguncularia racemosa* nos estuários inferior, médio e superior do complexo estuarino Real-Piauí-Fundo, Sergipe.



Fonte: Elaborado por Sindiany Santos (2015), a partir do uso dos *softwares* MorphoJ (KLINGENBERG, 2011), PAST e Inkscape.

Figura 4.9: Análise de Componentes Principais (ACP) do componente simétrico da folha e distribuição das amostras coletadas para a espécie *Rhizophora mangle* nos estuários inferior, médio e superior do complexo estuarino Real-Piauí-Fundo, Sergipe.



Fonte: Elaborado por Sindiany Santos (2015), a partir do uso dos *softwares* MorphoJ (KLINGENBERG, 2011), PAST e *Winkskape*.

Nesse contexto, é possível observar que para *A. schaueriana*, a forma da folha do estuário inferior no PCI apresenta redução na largura e aumento das regiões terminais e no PC2 há uma tendência de encurtamento da região apical que se estende até a região mediana da folha, sendo que a partir deste ponto a variação demonstra aumento tanto na largura foliar como na base do pecíolo. No estuário médio, acima de 50% da amostra está situada nos lados positivos do PC1 e PC2. No primeiro componente há uma tendência de aumento da largura e encurtamento das regiões apical e basal. Para o PC2 a situação é idêntica ao estuário inferior, que é diferente em relação ao estuário médio, e no superior existem formas sobrepostas ao estuário inferior e ao médio. No estuário superior a forma da folha sobrepõe os lados positivos e negativos do PC1 e PC2.

No caso da *L. racemosa* existe sobreposição entre os três estuários, mas é possível observar na figura 4.8, que a Análise de Componentes Principais revela certa tendência de variação na forma da folha em cada um deles. O estuário inferior apresenta uma tendência de variação com folhas mais largas e com redução das regiões terminais e no PC2 existe a tendência de alargamento próximo à região apical, mas encurtamento no restante da estrutura foliar. Ao contrário, no estuário superior a maioria das folhas para o PCI é estreita e maior na altura e no PC2 a região apical é mais curta, sendo que até a região mediana há um estreitamento da forma, a qual se modifica a partir deste ponto, sendo mais larga e mais alongada na região basal do pecíolo. No estuário médio, para o PC1, as folhas são tanto largas e curtas, como estreitas e alongadas, demonstrando sobreposição entre os estuários inferior e superior e para o PC2 repete-se o resultado do estuário superior para este componente.

A análise de ACP pra *R. mangle* mostra a diferença que existe entre a variação de forma entre os estuários inferior e superior para o PC1. No estuário inferior as folhas são mais largas e mais curtas em relação à média e no estuário superior elas são mais estreitas e mais alongadas. Para o PC2 existe variação nos dois estuários, com folhas mais curtas na região basal e mais estreita nas proximidades no pecíolo e mais largas da faixa mediana da folha até a região apical, onde é mais alongada. Apesar disso, no inferior as folhas estão muito próximas da forma média. No estuário médio existe sobreposição com os estuários inferior e superior, para os dois componentes principais, apesar da tendência de variação existente.

4.4.2.2 Análise discriminante

Os resultados da análise discriminante mostraram que existe uma estruturação espacial relacionada à forma das folhas para as três espécies de mangues, indicando que elas podem separar-se nos grupos conhecidos *a priori* (Tabela 4.6).

Para a *L. racemosa* e *R. mangle* os resultados entre os grupos revelaram-se significativos ($p < 0.05$), o que demonstra que existem diferenças na forma foliar destes mangues, entre as localidades amostradas.

No que se refere à *A. schaueriana* não foram encontrados resultados significativos entre os estuários inferior e superior ($p > 0.05$). Isso indica que as folhas destas duas localidades são iguais. Contudo, entre os grupos de estuários inferior – médio e médio – superior existem diferenças na forma foliar ($p < 0.05$). É importante considerar que a amostragem do número de folhas do estuário superior pode ter influenciado nos resultados. Dessa forma, as folhas do estuário médio pode ser distinguidas das folhas das outras localidades.

Tabela 4.6: Distribuição espacial da forma das folhas de *Avicennia schaueriana*, *Laguncularia racemosa* e *Rhizophora mangle* a partir da validação cruzada da análise discriminante.

<i>Avicennia schaueriana</i>					
Grupos – Inferior – Médio			Grupo 1 – Inferior	Grupo 2 - Médio	Total
Grupo 1 – Inferior			15	5	20
Grupo 2 – Médio			2	18	20
Grupos – Inferior – Superior			Grupo 1 – Inferior	Grupo 2 - Superior	Total
Grupo 1 – Inferior			13	7	20
Grupo 2 – Superior			3	2	5
Grupos – Médio – Superior			Grupo 1 – Médio	Grupo 2 - Superior	Total
Grupo 1 – Médio			15	5	20
Grupo 2 – Superior			3	2	5
<i>Laguncularia racemosa</i>					
Grupos – Inferior – Médio			Grupo 1 – Inferior	Grupo 2 - Médio	Total
Grupo 1 – Inferior			15	5	20
Grupo 2 – Médio			6	14	20
Grupos – Inferior – Superior			Grupo 1 – Inferior	Grupo 2 - Superior	Total
Grupo 1 – Inferior			17	3	20
Grupo 2 – Superior			2	18	20

<i>Laguncularia racemosa</i>				
Grupos – Médio – Superior	Grupo 1 – Médio	Grupo 2 - Superior	Total	
Grupo 1 – Médio	13	7	20	
Grupo 2 – Superior	4	16	20	
<i>Rhizophora mangle</i>				
Grupos – Inferior – Médio	Grupo 1 – Inferior	Grupo 2 - Médio	Total	
Grupo 1 – Inferior	18	2	20	
Grupo 2 – Médio	1	19	20	
Grupos – Inferior – Superior	Grupo 1 – Inferior	Grupo 2 - Superior	Total	
Grupo 1 – Inferior	19	1	20	
Grupo 2 – Superior	1	19	20	
Grupos – Médio – Superior	Grupo 1 – Médio	Grupo 2 - Superior	Total	
Grupo 1 – Médio	17	3	20	
Grupo 2 – Superior	2	18	20	

Fonte: Elaborado por Sindiany Santos (2015), a partir do uso do *software* MorphoJ (KLINGENBERG, 2011).

4.4.2.3 Análise de Agrupamento

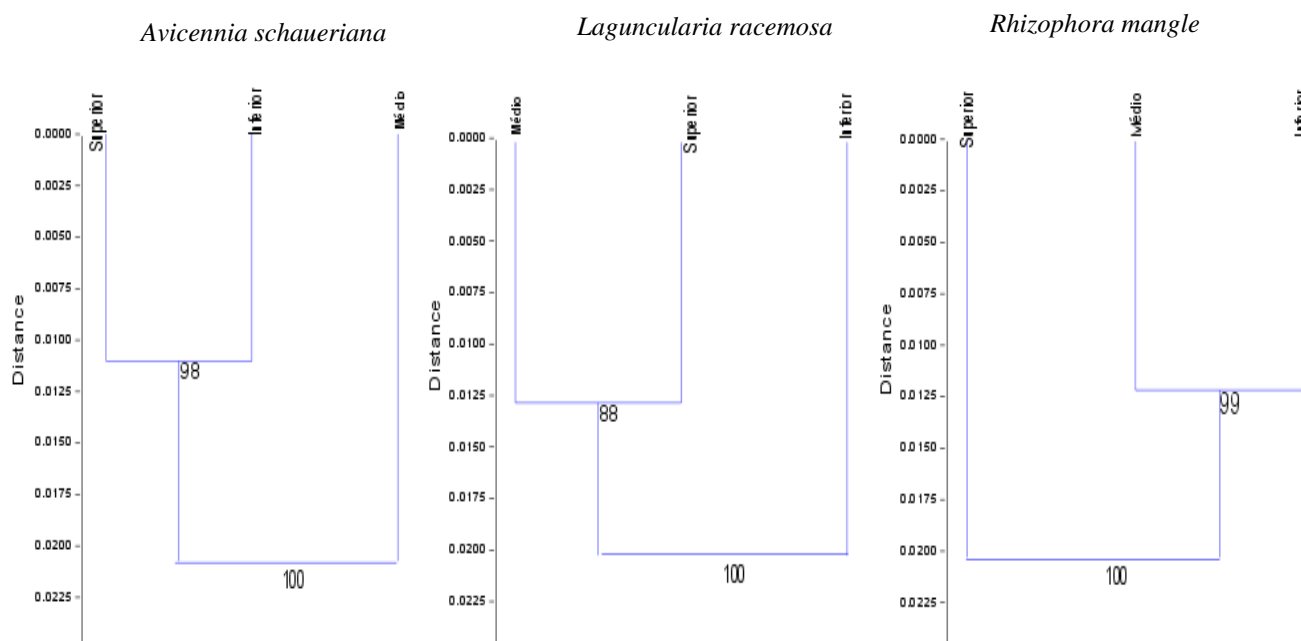
A análise de agrupamento revelou um índice de correlação cofenética alto (próximo de 100%) para *A. schaueriana* (0.95) e *L. racemosa* (0.92). A *R. mangle*, por outro lado, teve índice de 0.66. Todavia, mesmo com valor abaixo de 70% para esta espécie, a análise de *bootstrap* com 1000 permutações revelou ramos confiáveis da árvore, indicando que existem distinções na forma foliar entre os estuários (Gráfico 4.1).

Nesse sentido, para a *A. schaueriana*, o dendrograma mostra que há uma confiança de 100% ao assegurar que a forma das folhas do estuário médio é diferente daquela dos estuários inferior e superior e, 98% de certeza que as folhas do inferior são distintas na forma daquelas do superior. Contudo, ainda que a forma foliar seja desigual nas três localidades, as mais parecidas estão nos estuários médio e superior.

Já o dendrograma da *L. racemosa*, indica com 100% de confiabilidade a diferença que existe entre a forma foliar do estuário inferior e as demais áreas de pesquisa. Também mostra que há 88% de certeza da diferença existente entre o médio e o superior, embora estes sejam mais parecidos em relação ao estuário inferior.

Quanto à *R. mangle*, o estuário superior destaca-se por ser o mais distinto entre os demais, com 100% de confiança, e os outros apresentam 99% de confiabilidade, no que diz respeito à diferenças na forma foliar entre o médio e o inferior

Gráfico 4.1: Dendrograma das espécies *Avicennia schaueriana*, *Laguncularia racemosa* e *Rhizophora mangle*, por estuário, obtidos a partir dos valores médios da forma das folhas dos mangues, pelo método de agrupamento UPGMA, com bootstap de 1000 permutações.



Fonte: Elaborado por Sindiany Santos (2015), a partir do uso do *software* PAST.

4.4.3 Análise de tamanho

As análises da ANOVA revelaram que existe diferença significativa de tamanho da folha ($p < 0.01$) entre os três estuários, tanto para *A. schaueriana* como para *R. mangle*. Para *L. racemosa* não existe diferença significativa de tamanho entre os estuários inferior e superior ($p > 0.05$) (Tabela 4.7).

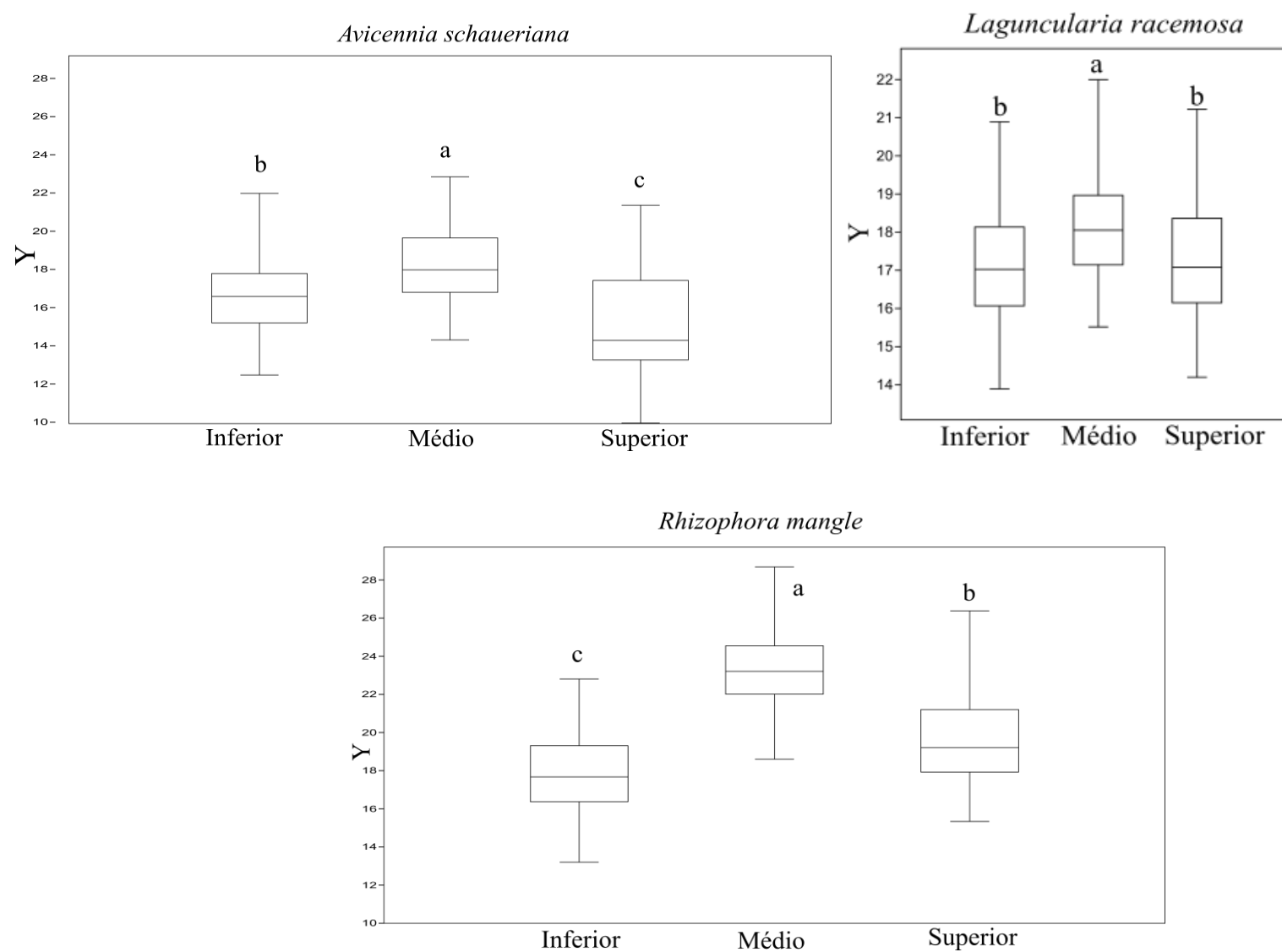
Tabela 4.7: Análise de variância do tamanho das folhas de *Avicennia schaueriana*, *Laguncularia racemosa* e *Rhizophora mangle*, dos estuários inferior, médio e superior.

<i>Avicennia schaueriana</i>			
	Inferior	Médio	Superior
Inferior		p<0.01	p<0.01
Médio	8.002		p<0.01
Superior	8.035	14.04	
<i>Laguncularia racemosa</i>			
	Inferior	Médio	Superior
Inferior		p<0.01	p>0.05
Médio	10.28		p<0.01
Superior	1.451	8.833	
<i>Rhizophora mangle</i>			
	Inferior	Médio	Superior
Inferior		p<0.01	p<0.01
Médio	39.01		p<0.01
Superior	13.34	25.67	

Fonte: Elaborado por Sindiany Santos (2015), a partir do uso dos *softwares* MorphoJ (KLINGENBERG, 2011) e PAST.

A figura 4.10 permite a visualização das diferenças de tamanho a partir dos valores médios do tamanho do centroide. Em geral, as folhas do estuário médio são maiores para as três espécies. Na *A. schaueriana*, as do estuário inferior são intermediárias e as do superior são as menores em relação as demais. Já para *L. racemosa*, as folhas do inferior e superior têm tamanhos iguais ao do valor médio. A *R. mangle* apresenta as folhas intermediárias no superior e as menores no inferior.

Figura 4.10: Boxplot da comparação do tamanho das folhas de *Avicennia schaueriana*, *Laguncularia racemosa* e *Rhizophora mangle*, entre os estuários inferior, médio e superior.



Fonte: Elaborado por Sindiany Santos (2015), a partir do uso dos *softwares* MorphoJ (KLINGENBERG, 2011) e PAST.

4.4.4 Análise de forma *versus* tamanho

Na análise de forma e tamanho o valor de p para as três espécies foi $p > 0.05$, indicando que não existe efeito de alometria e, conseqüentemente, que a forma da folha não varia em função do tamanho. Assim, folhas de tamanhos distintos não alteram seu padrão de forma, o qual varia independentemente do tamanho.

4.4.5 Significância dos componentes de solo em relação à forma e tamanho das folhas de mangues

As análises de regressão realizadas entre os componentes de solo e de salinidade da água, e a forma e tamanho das folhas de mangues revelaram resultados distintos quanto à significância dos elementos para cada espécie, conforme revelado pelos valores preditivos na tabela 4.8.

Tabela 4.8: Valor preditivo e significância obtida a partir da análise de regressão linear da forma e tamanho das folhas de *Avicennia schaueriana*, *Laguncularia racemosa* e *Rhizophora mangle*, em relação aos componentes sedimentológicos e de salinidade da água dos estuários inferior, médio e superior.

Componentes dos sedimentos/água	<i>Avicennia schaueriana</i>		<i>Laguncularia racemosa</i>		<i>Rhizophora mangle</i>	
	Análise de forma (%)	Análise de tamanho (%)	Análise de forma (%)	Análise de tamanho (%)	Análise de forma (%)	Análise de tamanho (%)
Areia	0,0174 ^{ns}	0,1036*	0,0629*	0,0489 ^{ns}	0,3629**	% predicted:0,3402* *
Silte	0,0173 ^{ns}	0,1023*	0,0629*	0,0483 ^{ns}	0,3472**	0,3699**
Argila	0,0212 ^{ns}	0,1248*	0,0633*	0,0414 ^{ns}	0,0413 ^{ns}	0,7128**
pH em água	0,1087*	0,0015*	0,0428 ^{ns}	0,0178 ^{ns}	0,4066**	0,2477**
pH em SMP	0,1798*	0,0990*	0,0391 ^{ns}	0,0276 ^{ns}	0,3444**	0,3750**
Matéria orgânica	0,1818*	0,3002*	0,0601*	0,0041 ^{ns}	0,2286**	0,5565**
Na	0,0172*	0,1015*	0,0589*	0,0019 ^{ns}	0,4560**	0,0954**
Ca	0,1616*	0,3033*	0,0522*	0,0016 ^{ns}	0,2284**	0,1854**
Mg	0,0288*	0,1521*	0,0635*	0,0314 ^{ns}	0,4328**	0,1801**
K	0,0244*	0,1375*	0,0605*	0,0052 ^{ns}	0,4456**	0,1395**
P	0,1146*	0,2829*	0,0484 ^{ns}	0,0000 ^{ns}	0,0386 ^{ns}	0,7119**
Fe	0,0497 ^{ns}	0,2016*	0,0631*	0,0205 ^{ns}	0,0175 ^{ns}	0,6725**
Cu	0,0714*	0,0002 ^{ns}	0,0634*	0,0378 ^{ns}	0,0216 ^{ns}	0,6929**
Mn	0,0880*	0,0043 ^{ns}	0,0335 ^{ns}	0,0461 ^{ns}	0,4101**	0,0034 ^{ns}
Zn	0,0428*	0,1876*	0,0209 ^{ns}	0,1113 ^{ns}	0,2306**	0,5538**
CTC	0,0365 ^{ns}	0,1732*	0,0600*	0,0038 ^{ns}	0,4258**	0,1996**
CE	0,0428 ^{ns}	0,1876*	0,0533 ^{ns}	0,0008 ^{ns}	0,0182 ^{ns}	0,6787**
Salinidade - maré baixa	0,0000 ^{ns}	0,0000 ^{ns}	0,0178 ^{ns}	0,1660 ^{ns}	0,4583**	0,0807**
Salinidade - maré alta	0,1897*	0,1191*	0,0611*	0,0698*	0,2399**	0,5412**

* Significativo ($p < 0.05$)/ ** Significativo ($p < 0.01$)/ ns= não houve significância ($p > 0.05$).

Fonte: Elaborado por Sindiany Santos (2015), a partir do uso dos *softwares* MorphoJ (KLINGENBERG, 2011) e PAST.

Sobre a granulometria, esta interferiu no tamanho das folhas de *A. schaueriana*, na forma das folhas de *L. racemosa* e, de maneira diferente sobre a *R. mangle*, os resultados mostraram que as frações de areia e silte são importantes para a forma da folha, enquanto todas as frações granulométricas analisadas (areia, silte e argila) foram significativas para o tamanho das folhas deste último mangue.

A análise de pH também demonstrou variações entre as espécies. Este componente influencia tanto na forma como no tamanho da *A. schaueriana*, como na *R. mangle*. Contudo, não mostrou nenhuma interferência sobre a *L. racemosa*.

No tocante ao parâmetro matéria orgânica, as análises mostraram que ela é um componente de interferência sobre a forma e tamanho das folhas de *A. schaueriana* e *R. mangle*. Mas na *L. racemosa* influencia apenas na forma.

Ao investigar a significância do elemento essencial sódio na plasticidade fenotípica dos mangues, foi possível verificar que o componente é significativo para a forma e tamanho das folhas de *A. schaueriana* e da *R. mangle*. Por outro lado, para *L. racemosa*, o Na é significativo apenas para a forma da folha da espécie.

Na análise de regressão para os macronutrientes Ca, Mg e K, foi notado o mesmo comportamento entre a forma e tamanho da folha das espécies em relação ao Na. Portanto, as três espécies apresentaram valores significativos para forma da folha e, com exceção da *L. racemosa*, as outras duas apresentaram valores significativos para o tamanho da folha.

Para o fósforo foi possível identificar valores significativos tanto para forma, como para o tamanho das folhas de *A. schaueriana*. Por outro lado, para *R. mangle* o fósforo influencia apenas no tamanho da folha e para *L. racemosa* não influencia nem na forma e nem no tamanho foliar.

No que se refere ao micronutriente Fe, os valores de *p* mostram que apenas o tamanho das folhas de *A. schaueriana* e *R. mangle* sofrem interferência do ferro. Para *L. racemosa*, apenas a forma sofre influência deste elemento.

Para o cobre (Cu) as análises estatísticas demonstraram a influência sobre a forma das folhas de *A. schaueriana* e *L. racemosa*. Contudo, na *R. mangle* a interferência sobre a estrutura foliar ficou apenas por conta do tamanho.

Já o Mn apresentou resultados de interferência ligados apenas à forma, sendo exceção entre as três espécies, a *L. racemosa*.

As análises para o Zn revelaram que este elemento interfere tanto na forma como no tamanho das folhas das espécies *A. schaueriana* e *R. mangle*. Por outro lado, não apresenta interferência alguma sobre a *L. racemosa*.

Quanto à capacidade de troca catiônica (CTC), esta foi significativa para a *R. mangle* na forma e no tamanho. Entretanto, influencia apenas o tamanho foliar da *A. schaueriana* e a forma da *L. racemosa*.

No que se refere à condutividade elétrica, esta influencia apenas no tamanho da *A. schaueriana* e *R. mangle*.

Quanto à salinidade da água, destaca-se a significância da variável para *R. mangle* tanto na maré alta, como na maré baixa e tanto para a forma, como para o tamanho. Além disso, a salinidade da água na maré alta foi significativa para *A. schaueriana* e *L. racemosa*.

4.4.6 Significância da variável climática temperatura em relação à forma e tamanho das folhas de mangues

As análises de regressão entre a forma e a temperatura anual na escala de 30 anos (1980 até 2010) e deste último com o tamanho da folha dos mangues, revelaram que a variável não interfere na forma e nem no tamanho da folha da espécie *Avicennia schaueriana*. Por outro lado, tanto a forma como o tamanho das folhas de *L. racemosa* e *R. mangle* apresentaram valores significativos de *p* no que se refere às temperaturas mínima e máxima (Tabela 4.9).

Tabela 4.9: Valor preditivo e significância obtida a partir da análise de regressão linear da forma e tamanho das folhas de *Avicennia schaueriana*, *Laguncularia racemosa* e *Rhizophora mangle*, em relação à temperatura média anual no Complexo estuarino Real-Piauí-Fundo.

Temperatura média anual	<i>Avicennia schaueriana</i>		<i>Laguncularia racemosa</i>		<i>Rhizophora mangle</i>	
	Análise de forma (%)	Análise de tamanho (%)	Análise de forma (%)	Análise de tamanho (%)	Análise de forma (%)	Análise de tamanho (%)
Temperatura mínima	0,0000 ^{ns}	0,0000 ^{ns}	0,0611*	0,0698*	0,3221**	0,4146**
Temperatura máxima	0,0000 ^{ns}	0,0000 ^{ns}	0,0611*	0,0698*	0,3221**	0,4146**
Temperatura compensada	0,0000 ^{ns}	0,0000 ^{ns}	0,0000 ^{ns}	0,0000 ^{ns}	0,0000 ^{ns}	0,0000 ^{ns}

* Significativo ($p < 0.05$)/ ** Significativo ($p < 0.01$)/ ns= não houve significância ($p > 0.05$).

Fonte: Elaborado por Sindiany Santos (2015), a partir do uso dos *softwares* MorphoJ (KLINGENBERG, 2011) e PAST.

4.5 DISCUSSÃO

As investigações no âmbito da plasticidade fenotípica podem prever importantes resultados acerca de mudanças relativas à distribuição das espécies e composição de comunidades (KLEUNEN, FISCHER, 2007; LANDE, 2009). Para tanto, é preciso investigar também a quais condições ambientais as populações de plantas estão submetidas.

4. 5.1 Distribuição das espécies em relação às características sedimentológicas

Consoante Walsh (1974), o melhor grau de desenvolvimento do manguezal depende, entre outros fatores, dos requisitos: substratos predominantemente lodosos, constituídos de silte e argila e alto teor de matéria orgânica; áreas abrigadas, livres da ação de marés fortes; e presença de água salgada. Partindo desta afirmação, os percentuais revelados pelo estuário médio mostraram como as condições desta área parecem ser favoráveis para o desenvolvimento dos mangues dentro do complexo estuarino.

Os resultados da avaliação da composição granulométrica mostraram que as três espécies desenvolvem-se em uma variedade de condições, com substratos de classificação textural franco (grossa), para *A schaueriana* nos estuários inferior e médio e para *R. mangle* no superior; franco siltoso (partículas finas) para *L. racemosa* e *R. mangle* no inferior e franco arenoso (moderadamente grossa) para *L. racemosa* no médio e todas as espécies no estuário superior. Essa característica corrobora com as afirmações de ocorrência de mangues em variedade de sedimentos, no que concerne à característica referida (BERNINI et al., 2006; JIMENEZ, LUGO, 1985; CUZZUOL, ROCHA, 2012). Quando o solo possui partículas típicas da textura franco, isso pode ter ligação com o acúmulo de sedimentos marinhos e fluviais, em decorrência de processos erosivos que são desencadeados em meio a expansão de empreendimentos urbanos, como ocorre no litoral sergipano.

As variações nos solos de manguezal também ocorreram para o fatores pH, CTC, teor de matéria orgânica, concordando com a literatura de VallHay e Lacerda (1980), salinidade e fósforo, como ressaltaram Cardona e Botero (1998).

No estuário inferior os solos apresentaram teor de pH básico para as três espécies, no médio ocorreram variações e apenas a *L. racemosa* teve solo básico. No

superior houve predominância de pH ácido para *A. schaueriana*, *L. racemosa* e *R. mangle*. A ocorrência de solo ácido pode ser uma resposta aos tensores antropogênicos característicos do estuário superior, área que está submetida de maneira mais intensa, entre as três localidades investigadas, à presença de instalações voltadas para carcinicultura e aos empreendimentos imobiliários, fatores que interferem na dinâmica do solo. Em meio às alterações ambientais os solos sofrem oxidação tornando-se mais ácidos (SCHAEFFER-NOVELLI, 1995).

Além disso, solos que apresentam níveis deficientes de Ca geralmente apresentam baixos valores de pH (MARENCO; LOPES, 2009), o que pode ser observado nas investigações feitas em campo, uma vez que, as menores taxas do Ca ocorreram no estuário superior, onde os valores de pH são os menores para todas as espécies.

A capacidade de troca catiônica mostrou valores que parecem estar relacionados à condutividade elétrica. Esta, por sua vez, está associada à salinidade e os três fatores estão relacionados à posição das áreas analisadas ao longo do estuário. A salinidade é um elemento extremamente variável em decorrência da dinâmica do rio com o mar e ela tem uma influência muito forte sobre o desenvolvimento dos mangues. O sódio é considerado como um elemento essencial para algumas plantas (GUREVITCH et al., 2009) e, no caso das plantas de mangue, atua no equilíbrio osmótico e iônico das plantas, que é essencial à sobrevivência das espécies. Nesse sentido, remeta-se aos resultados da análise de componentes principais, que apontaram este elemento abiótico como o de maior tendência quanto à influência exercida sobre os estuários para as três espécies. Em todas as localidades investigadas o solo foi classificado como salino sódico, ressaltando a influência do Na no solo. O aumento do CTC também está associado à elevação dos valores de bases trocáveis Ca, Mg e K, tanto para a *A. schaueriana*, como para a *L. racemosa*. Para a *R. mangle* esta relação repetiu-se apenas para o Mg e para o K. Tal ligação também já foi relatada no trabalho de Cuzzuol e Campos (2001). Ademais, parece haver uma relação direta entre a quantidade de matéria orgânica e o CTC no manguezal do litoral sul para as espécies *A. schaueriana* e *L. racemosa* e há uma tendência de valores muito próximos para a *R. mangle* também. Esta ligação entre CTC e matéria orgânica foi observada por Cuzzuol e Campos (2001) para *L. racemosa* e *R. mangle* no estuário do rio Mucuri na Bahia.

Sobre a matéria orgânica, este componente é extremamente variável no manguezal e está sujeito, tanto ao regime das marés, como à produção de serapilheira (BERNINI et al., 2006). No geral, o estuário médio apresenta os maiores valores do parâmetro e isto é muito importante para o desenvolvimento dos bosques de mangues.

Os teores de macronutrientes também variaram de acordo com a zona entre-marés para as três espécies: no inferior a *L. racemosa* destacou-se pela maior quantidade de macronutrientes, no médio a *A. schaueriana* e no superior a *R. mangle*. Apesar desta última espécie ter sido a que menos apresentou macronutrientes entre as outras, nos estuários inferior e médio, foi possível ver a tendência de acúmulo de Ca, o que pode estar relacionado ao fato da coleta para esta espécie ter acontecido nos bosques de bacia que são mais internos à faixa do rio. Existe uma relação entre o acúmulo de macronutrientes e a topografia do relevo das regiões de bosques (CUZZUOL; ROCHA, 2012). No caso da *L. racemosa*, houve uma tendência da redução da ocorrência dos nutrientes Ca, K e Mg. Este evento é natural à medida que tais elementos são principalmente de origem marinha (BERNINI et al., 2006).

Quanto ao Mg (magnésio) existe uma tendência do nutriente em preferir solos argilosos (MENGEL; KIRKBY, 1987). Contudo, os resultados da tabela 4.2 mostram variações de ocorrência do nutriente no solo que independem da natureza granulométrica, tanto para *A. schaueriana* como para *R. mangle*, ao contrário da *L. racemosa*, que obedece à afirmação dos autores com menor valor de magnésio em solo arenoso. Respostas como estas podem estar associadas ao fato do Mg ser um componente de fácil lixiviação (MARENCO; LOPES, 2009).

Considere-se ainda que o Mg e o micronutriente Mn (manganês) são elementos competitivos e se a presença de um elemento aumenta outro torna-se escasso (Tabela 4.2). Quando acontece dos valores de Mg estarem abaixo dos valores do Mn, a planta pode sofrer por toxidez (MENGEL; KIRKBY, 1987).

As áreas de maior presença do P são comumente aquelas de maior inundação (BOTO; WELLINGTON, 1984). O que foi possível observar no complexo estuarino investigado. Para *A. schaueriana* a área de maior inundação concentra-se no estuário médio, para a *L. racemosa* e *R. mangle* as áreas de coleta no estuário inferior foram as mais inundadas e consequentemente de maior concentração do P.

Os altos índices de Fe observados na tabela 4.2, no estuário inferior para *A. schaueriana* e *L. racemosa* e no médio para *R. mangle* podem ser explicados em decorrência do solo anaeróbico. Nesta condição, ocorre oxidação da matéria orgânica, intermediada pelos microorganismos presentes, e geração de formas menos cristalinas de Fe^{2+} que são reduzidas e provocam o aumento da concentração e disponibilidade do micronutriente no solo (ANDRADE, 2013).

Quanto ao Mn, parece haver uma tendência de elevação de pH e acréscimo deste elemento tanto para *A. schaueriana*, como para *R. mangle*.

Em pesquisa de mestrado realizada por Andrade (2013), acerca das características físico-química do solo nos estuários do rio Sergipe e São Francisco, a autora afirmou que o Zn, ao contrário do Fe, responde de modo distinto ao solo anaeróbico, em meio ao acúmulo de CO_2 resultante da decomposição da matéria orgânica e das variações de pH (ANDRADE, 2013). Entretanto, os resultados para o solo do complexo estuarino Real-Piauí-Fundo mostraram que a maior quantidade de Zn foi encontrada no solo do estuário médio da *R. mangle*, onde foi quantificado, dentre todas as localidades, o maior valor para o Fe também.

O teores de Al abaixo dos níveis limitantes de toxicidade (ITPS, 2015), pode estar relacionado ao fato do pH proporcionar maior solubilidade do elemento e consequentemente favorecer à lixiviação do Al^{3+} e a precipitação dos hidróxidos de alumínio Al^{3+} (ANDRADE, 2013).

4.5.2 Análise do componente simétrico da forma da folha

Os resultados apontam que em um complexo estuarino apresentou tendências de variação de forma das folhas entre as localidades amostradas para as espécies de *A. schaueriana*, *L. racemosa* e *R. mangle* que se distribuem nos estuários inferior, médio e superior.

As análises morfométricas permitem avaliar a variação que existe dentro das populações e entre elas (REIS, 1988). Este fator permitiu analisar a existência de respostas plásticas diferenciadas para cada espécie em cada localidade e estas respostas estão fortemente associadas às condições ambientais apresentadas em cada ambiente investigado. O fato dos dois componentes principais terem explicado acima de 90% da tendência de variação da forma da folha, na análise de correlação, pode ter decorrido da

capacidade das espécies em se estabelecer mesmo em meio à heterogeneidade ambiental, a qual o ambiente de manguezal está submetido. E, desse modo, sujeitas às variações ambientais, formam grupos distintos na análise discriminante e na análise de agrupamento (a partir da ACP), especialmente a *A. schaueriana* e *R. mangle*, as quais não mostraram sobreposição de grupos. Nascimento (2008) afirmou que dentro de cada manguezal encontra-se uma série de agrupamentos, contudo, cada um deles possui seu micro-habitat definido e singular. Nessa perspectiva, as espécies irão responder às condições do ambiente de acordo com o valor adaptativo que possuem. Os indivíduos são capazes de modificar seus fenótipos em resposta às mudanças ambientais e que essas respostas podem implicar em benefícios de aptidão (PIGLIUCCI, 2001).

A partir do contexto, reflete-se que o valor amostral da *A. schaueriana*, pode ter sido um fator de interferência nos resultados da formação de grupos. Todavia, a *R. mangle* foi a espécie, entre as três, que mais respondeu às diferenças ambientais na microescala do complexo estuarino.

4.5.3 Análise de tamanho foliar dos mangues

As variações de tamanho apontadas nos resultados, a partir da ANOVA, refletiram como os mangues comportam-se de forma distinta no complexo estuarino. A ocorrência das maiores folhas no estuário médio, por sua vez, decorre da presença de fatores abióticos (componentes do solo, do clima e da água), no estuário médio, que favorecem tanto a colonização como o desenvolvimento dos mangues (Tabela 4.3). É sabido que o tamanho das plantas depende da nutrição mineral que a ela é fornecida.

4.5.4 Análise de forma *versus* tamanho

É importante destacar que o fato de não existir efeito de alometria permitiu afirmar que a plasticidade fenotípica das folhas dos mangues, no aspecto forma, não sofre influência do tamanho e este último sofre variações independentemente. Neste caso, o resultado da plasticidade pode ser interpretado em termos adaptativos e de forma separada. Ademais, o fenótipo é resultado da seleção natural, independentemente do tamanho (ENDLER, 1986).

4.5.5 Significância dos componentes de solo e clima em relação à forma e tamanho das folhas de mangues

As análises de regressão linear revelaram que existe uma relação de interdependência entre características abióticas e variações de forma e tamanho das folhas. Apesar de ser esperado que os componentes do solo influenciassem no tamanho das folhas, a existência de variações na forma em função dos parâmetros do solo e clima revelou que mesmo em microescala foi possível evidenciar plasticidade fenotípica nas folhas da *A. schaueriana*, *L. racemosa* e *R. mangle*. Ou seja, as populações de mangues estavam sujeitas às pressões seletivas do ambiente de cada estuário, as quais promovem respostas morfoanatômicas diferentes nas folhas. Segundo Valladares e Gianoli (2007) e Gratani (2014) as distinções entre as espécies e as populações podem ser observadas e são as limitações de recursos que irão determinar o nível da plasticidade. O ambiente pode induzir alterações no comportamento do indivíduo em um nível morfológico ou fisiológico e isso se torna crucial à sobrevivência (GRATANI, 2014).

Segundo Givnish (1984), as características morfoanatômicas das plantas sofrem muita interferência dos fatores ambientais associados com o clima, a luz, quantidade de chuvas, solo, relevo e altitude.

A partir dos resultados da regressão linear entre tamanho foliar e componentes abióticos (solo, clima e salinidade da água) foram observadas diferentes respostas dos mangues às condições ambientais do complexo estuarino.

Em termos da significância da granulometria para o tamanho da folha destacaram-se as espécies *A. schaueriana* e *R. mangle*. É importante salientar que a *A. schaueriana* é exigente quanto ao tipo de solo, pois suas sementes não germinam, assim como a planta não cresce, em solos rochosos e arenosos (NASCIMENTO, 2008), o que configura a significância da granulometria e consequentemente folhas de tamanho menor no estuário superior, onde as maiores frações de sedimento são de areia (Tabela 4.2). Quanto à *R. mangle*, o tipo do solo é fundamental para o desenvolvimento da planta. Nos solos argila-arenoso o sistema foliar aumenta em tamanho, justificando os maiores tamanhos de folha nos estuários médio e superior.

As plantas podem viver normalmente em solos que apresentam pH entre 4 e 9. Contudo, a maioria tem maior sucesso quando os valores situam-se entre 5 e 7, com o ótimo aproximado a 6.5 (MARENCO; LOPES, 2009). As espécies que mais sofrem

variação do componente e têm o tamanho influenciado entre as localidades são a *A. schaueriana* e *R. mangle*. No caso desta última, a redução do pH para 4.9 (Tabela 4.2) no estuário superior aumenta a taxa de Al. Vale salientar que este elemento químico, diante do aumento da acidez do solo, pode provocar toxidez à planta (MARENCO; LOPES, 2009).

Para *L. racemosa* as maiores folhas também estão localizadas no estuário médio. Contudo, a tabela 4.8 de significância entre o tamanho das folhas e os parâmetros de sedimentos e de salinidade da água mostra que apenas a salinidade da água na maré alta influencia no tamanho da folha desta espécie, o que também pode ser analisado na tabela 4.3 dos parâmetros físicos e químicos. Segundo Soto e Jiménez (1982) e Medina e Francisco (1997), a concentração salina do solo e o potencial osmótico dos tecidos relacionam-se de maneira que afetam o metabolismo celular e, quando a salinidade é alta, pode haver redução da síntese proteica e do tamanho das folhas. Se a fertilidade fosse significativa para o tamanho das folhas de *L. racemosa*, as maiores folhas estariam no estuário inferior e estas não teriam o mesmo tamanho médio em relação ao estuário superior, onde se tem a menor taxa de fertilidade completa entre as três localidades analisadas. A salinidade na maré alta também atua como variável de influência sobre o tamanho foliar das outras duas espécies de mangue, assim como o CTC. Por outro lado, a *R. mangle* também tem seu tamanho influenciado pela salinidade da água na maré baixa. Apesar de *A. schaueriana* e *R. mangle* apresentarem maior sensibilidade ao parâmetro ambiental em relação à *L. racemosa*, àquela demonstra-se mais suscetível às variações ambientais em termos anatômico-foliar.

No que se refere à *A. schaueriana*, as respostas dadas pela espécie, no geral, pode ser atribuída aos valores dos componentes de solo para fertilidade completa que são maiores no estuário médio, onde, assim como para as outras espécies, ocorrem as maiores folhas. A nutrição, por sua vez, reduz no estuário inferior e tem os menores valores no superior, o que é refletido no tamanho das folhas, a partir da ANOVA. A mesma análise foi feita para a *R. mangle*, a diferença é que depois do estuário médio, o superior tem maior fertilidade em relação ao inferior.

No caso dos mangues, sabe-se que o solo e o clima são fatores extremamente limitantes para a ocorrência, desenvolvimento e distribuição das espécies (NASCIMENTO, 2008). No que se refere a este último parâmetro, observa-se que existe uma forte influência das temperaturas mínimas e máximas sobre o tamanho das

folhas de *L. racemosa* e *R. mangle*. Estudos realizados no Golfo do México por Lot-Helgueras et al. (1975), Rico-Gray e Palacios-Rios (1996) e Saenger (2002) revelaram que a densidade de árvores, a altura e a área foliar em *R. mangle* eram inversamente correlacionadas com a temperatura e precipitação. Essa afirmação mais uma vez mostra como os mangues são sensíveis às mudanças ambientais em microescala e são importantes indicadores das mudanças climáticas, até mesmo partindo da análise de variáveis locais em uma escala temporal considerável.

Além disso, os resultados apontaram que existe uma significância maior ($p < 0.01$) da influência dos aspectos abióticos solo e clima sobre a *R. mangle* do que sobre as outras espécies, onde os elementos de influência apresentaram $p < 0.05$. Este resultado revelou o quanto as folhas da *R. mangle* são sensíveis aos fatores ambientais, ao mesmo tempo em que são capazes de habitar locais sujeitos às distintas variações abióticas. Consoante Gianoli e Valladares (2012), os indivíduos que expressarem melhor resposta às alterações ambientais terão melhor aptidão e Gratani (2014) completou que a população pode responder a um ambiente extremamente variável, o que faz dela mais plástica. Tais resultados sugerem que a *R. mangle* poderia ser considerada como possível espécie indicadora de variações/mudanças ambientais, tanto no que se refere aos componentes do solo, como às variações de clima, uma vez que a forma da folha pode atuar como preditora de alterações ambientais em escala local.

Nesse ponto de vista, pode-se considerar que a *R. mangle* é uma espécie generalista, pois cresce em uma variedade de condições, permitindo afirmar, a partir das reflexões em Gratani (2014) que ela tem uma maior plasticidade morfológica do que a *A. schaueriana* e *L. racemosa*, as quais poderiam ser chamadas de especialistas.

4. 6 IMPLICAÇÕES PARA A CONSERVAÇÃO DOS MANGUES

Espécies com ampla distribuição geográfica, como é o caso dos mangues *A. schaueriana*, *L. racemosa* e *R. mangle*, mostraram, entre todas as funções ecológicas já provadas cientificamente, que têm o potencial de apresentar variações morfoanatômicas em nível de populações. Tal comportamento está associado às variações ambientais que são influenciadas pela dinâmica marinha e terrestre e pela influência humana, os quais podem intervir na forma como os elementos comportam-se no ambiente e

consequentemente nas respostas de cada espécie ao estresse ambiental a que estão submetidas.

Os resultados apontados neste artigo mostraram por meio da análise morfométrica das folhas dos mangues, como as espécies são plásticas em meio às mudanças ambientais, mesmo com variações em nível regional, como é o caso do complexo estuarino Real-Piauí-Fundo.

Logo, uma vez identificada esta relação íntima entre variações ambientais e plasticidade fenotípica dos mangues, deve-se ampliar o leque de investigações mais profundas sobre padrões de variação das espécies em outras localidades litorâneas que abriguem o ecossistema, com fins comparativos e no intento de propor um protocolo que relacione forma da folha e condições ambientais.

Dessa maneira, a morfometria geométrica apresenta-se como uma importante ferramenta de análise do comportamento morfoanatômico foliar dos mangues, em relação às diversas pressões ambientais marinhas e terrestres. Nessa direção, técnicas morfogeométricas podem ser aplicadas com o propósito de reconhecimento da identidade de cada mangue.

Contudo, a busca por respostas sobre padrões de variação das espécies não se restringe aos fatores ecológicos. Portanto, o próximo artigo terá como foco a avaliação dos tensores antropogênicos enquanto agentes de transformação dos mangues do complexo estuarino Real-Piauí-Fundo e a conservação de mangues situados em uma Área de Proteção Ambiental.

REFERÊNCIAS

- ALONGI, D.M. Present state of future and the world's mangrove forests. **Environmental. Conservation.** v. 29, p.331–349.2002.
- ANDRADE, K. V. S. de. **A Dinâmica físico-química de solos de florestas de mangue em Sergipe, Nordeste do Brasil.** (Dissertação) Mestrado em Agroecossistemas. Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão. 2013.
- ASHTON, P.S.; HALL, P. Comparisons of structure among mixed dipterocarp forests of north-western Borneo. **Journal of Ecology.** p. 80, p. 459– 481. 1992.
- BEADLE, N.C.W. Soil phosphate and the delimitation of plant communities in eastern Australia. **Ecology.** v. 35, p. 370 –375, 1954.
- BEARD, J.S. **The Natural Vegetation of Trinidad**, v. 20. Clarendon Press, Oxford, UK. 1945.
- BEDETTI, C.S, et al. Abiotic factors modulate phenotypic plasticity in an apomictic shrub *Miconia albicans* (SW.) Triana] along a soil fertility gradient in a Neotropical savanna. **Australian Journal of Botany.** v. 59, p. 274-282, 2011.
- BERNINI, E.; SILVA, M.A.B.; CARMO, T.M.S.; CUZZUOL, G.R.F. Composição química do sedimento e de folhas das espécies do manguezal do estuário do rio São Mateus, Espírito Santo, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica.** v 29, n. 4, p. 689-699, 2006.
- BONGERS, F.; POPMA, J. Leaf characteristics of the tropical rain forest flora of Los Tuxtlas, Mexico. **Botanical Gazette**, v.151, 354-365, 1990.
- BOTO, K.G, WELLINGTON, J.T. Soil characteristics and nutrient status in a northern australian mangrove forest. **Estuaries**, v.17, n.1., p.61-69, 1984.
- BRADSHAW, A.D; HARDWICK, K. Evolution and stress-genotypic and phenotypic components. **Biological Journal of the Linnean Society.** v. 37, p. 137–155,1989.
- CARDONA, P.; BOTERO,L. Soil characteristics and vegetation structure in a heavily deteriorated mangrove forest in the Caribbean Coast of Colombia. **Biotropica**, v. 30, p. 24-34, 1998.
- CEMESE. CENTRO DE METEOROLOGIA DA SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. 2012.
- CORDELL, S., et al. Physiological and morphological variation in *Metrosideros polymorpha*, a dominant Hawaiian tree species, along an altitudinal gradient: the role of phenotypic plasticity. **Oecologia** 113:188–196. 1998.
- CUNNINGHAM, S.A.; SUMMERHAYES, B.; WESTOBY, M. Evolutionary divergences in leaf structure and chemistry, comparing rainfall and soil nutrient gradients. **Ecological Monographs.** v. 69. p.569–588. 1999.
- CUZZUOL, G. R. F.; CAMPOS, A Aspectos nutricionais na vegetação de manguezal do estuário do Rio Mucuri, Bahia, Brasil. **Revta Brasil. Bot.** v.24, n.2, p.227-234, jun. 2001.
- CUZZUOL, G. R. F.; ROCHA, A. C. Interação do regime hídrico com as relações nutricionais em ecossistema manguezal. **Acta Bot. Bras.**v.26, nº1, Feira de Santana, Jan./Mar. 2012.

DOBZHANSKY, T. **Genetics of the evolutionary process**. Columbia Univ. Press: New York, 1970.

DOLPH, G.E. The effect of different calculational techniques on the estimation of leaf area and the construction of leaf size distributions. **Bulletin of the Torrey Botanical Club**. v.104, p. 264–269, 1977.

DOLPH, G.E.; DILCHER, D.L. Variation in leaf size with respect to climate in the tropics of the Western Hemisphere. **Bulletin of the Torrey Botanical Club**. v. 107, p. 154–162. 1980.

DUKE, N.C. Phenological trends with latitude in the mangrove tree *Avicennia marina*. **J. Ecol.** 78:113–133.1990.

ENDLER, J. A. **Natural selection in the wild**. Princeton, NJ: Princeton University Press, 1986.

GEESKE, J.; APLET, G.; VITOUSEK, P. M. Leaf morphology along environmental gradients in hawaiian *Metrosideros polymorpha*. **Biotropica** v. 26, p. 17-22, 1994.

GIANOLI, E.; VALLADARES, F. Studying phenotypic plasticity: the advantages of a broad approach. **Biological Journal of the Linnean Society**. 2012.

GIVNISH TJ.. Leaf and canopy adaptations in tropical forests. In: MEDINA, E., MOONEY, H. A; VÁZQUEZ-YÁNES, C. (Eds). **Physiological ecology of plants of the wet tropics**. The Hague, the Netherlands: Dr W Junk. p. 51–84, 1984.

GRATANI, L. et al. Photosynthesis as a temperature indicator in *Quercus ilex* L. **Global and Planetary Change**, v. 24, n. 2, p. 153–163, 2000.

GRATANI, L. Plant Phenotypic Plasticity in Response to Environmental Factors. **Advances in Botany**. v. 2014, 2014.

GUNZ, P.; MITTEROECKERB, P. Semilandmarks: a method for quantifying curves and surfaces. **Hystrix, the Italian Journal of Mammalogy**. v. 24, n.1, p. 103–109, 2013.

GUREVITCH, J.; SCHEINER, S. M.; FOX, G. A. **Ecologia Vegetal**. Tradução Fernando Gertum Becker ... [et al]. ed. 2. Porto Alegre: Artmed, 2009.

HALLOY, S.R.P; MARK, A.F. Comparative leaf morphology spectra of plant communities in New Zealand, the Andes and the European Alps. **Journal of the Royal Society of New Zealand**. v. 26, p. 41–78, 1996.

HOFFMANN, W. A.; FRANCO, A. C. A importância evolutiva em estudos de ecofisiologia vegetal: exemplos de cerrados e florestas da região central do Brasil. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**. v. 20, p. 247-256. 2008.

INSTITUTO TECNOLÓGICO E DE PESQUISAS DO ESTADO DE SERGIPE (ITPS). **Análise dos resultados de solo**. 2015

INSTITUTO TECNOLÓGICO E DE PESQUISAS DO ESTADO DE SERGIPE (ITPS). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes no estado de Sergipe**. 2007.

JIMENEZ, J. A.; LUGO, A. E. *Avicennia germinans* (L) L. Black mangrove. Avicenniaceae. Verbena family. Unesco – ITF-SM, p. 4:6, 1985.

KLEUNEN, M. VAN, FISCHER, M. Progress in the detection of costs of phenotypic plasticity in plants, **New Phytologist**, v. 176, n. 4, p. 727–730, 2007.

KLINGENBERG, C. P. Analyzing Fluctuating Asymmetry with Geometric Morphometrics: Concepts, Methods, and Applications . **Symmetry**. v. 7, p. 843-934, 2015.

KLINGENBERG, C. P.; DUTTKE, S.; WHELAN, S.; KIM, M. Developmental plasticity, morphological variation and evolvability: a multilevel analysis of morphometric integration in the shape of compound leaves. **Journal of Evolutionary Biology**. v. 25, p. 115–129. 2012.

KLINGENBERG, C. P. MORPHOJ: an integrated software package for geometric morphometrics. **Molecular Ecology Resources**. v.11(2):353-7, 2011.

LANDE, R., Adaptation to an extraordinary environment by evolution of phenotypic plasticity and genetic assimilation, **Journal of Evolutionary Biology**, v. 22, n. 7, p. 1435–1446, 2009.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. Rima: São Carlos, 2000.

LOT-HELGUERAS, A.; VAZQUEZ –YANES, C.; MENENDEZ, F. L. Physiognomic and floristic changes near the northern limit of mangroves in the Gulf Coast of Mexico. In G. E. Walsh, S. C. Snedaker, and H. T. Teas (Eds.). **Proceedings of the International Symposium on Biology and Management of Mangroves**. v. 1, p. 52–61. Florida University, Gainesville, Florida. 1975.

MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. **Fisiologia vegetal: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral**. Ed. 3. Atual. Ampl. Viçosa: UFV, MG. 2009.

MAYR, E. **Animal species and evolution**. The Belknap press of Harvard University Press. Cambridge: Massachusetts, 1966.

MEDINA, E.; FRANCISCO, M. Osmolality and ¹³C of leaf tissues of mangrove species from environments of contrasting rainfall and salinity. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 45, p. 337-344, 1997.

MEDINA, E.; GARCIA, V. Cuevas, E. Sclerophylly and oligotrophic environments: relationships between leaf, structure, mineral nutrient content, and drought resistance in tropical rain forest of the upper Rio Negro region. **Biotropica**, v 22, p. 51-64, 1990.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. Worblaufen-Bern: International Potash Institute, 687p., 1987.

MINER BG, et al. Ecological consequences of phenotypic plasticity. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 20, p. 685–692, 2005.

MINER, B. G, et al. Ecological consequences of phenotypic plasticity. **Trends in Ecology & Evolution**. v. 20, p.685–692, 2005.

MINGOTI, S. A. **Análise de Dados Através de Métodos de Estatística Multivariada: uma abordagem aplicada**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005.

NASCIMENTO, S. **Ecofisiologia do manguezal**. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos. Aracaju, Sergipe: Degrase, 2008.

- NICOTRA, A.B. et al. Plant phenotypic plasticity in a changing climate. **Trends Plant Sci.** v. 15, p. 684–692. 2010.
- NUNEZ-OLIVERA, E.; MARTINEZ-ABAIGAR, J.; ESCUDERO, J.C. Adaptability of leaves of *Cistus ladanifer* to widely varying environmental conditions. **Functional Ecology.** v. 10, p. 636 – 646. 1996.
- ODUM, E.P. **Ecologia.** Rio de Janeiro: Ed. Guanabara Koogan. 1988.
- PARMESAN, C. Ecological and evolutionary responses to recent climate change. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics.** v. 37, p. 637–669, 2006.
- PIGLIUCCI, M. **Phenotypic plasticity: Beyond Nature and Nurture.** Baltimore, MD: The Johns Hopkins University Press. 2001.
- REIS, S.F. Morfometria e estatística multivariada em biologia evolutiva. **Revista Brasileira de Zoologia.** v. 5, n. 4, p. 571-580, 1988.
- RICO-GRAY, V.; PALACIOS-RIOS, M.. Leaf area variation in *Rhizophora mangle* L. (Rhizophoraceae) along a latitudinal gradient in Mexico. **Glob. Ecol. Biogeogr. Letts.** v. 5, p. 30–35, 1996.
- RODRIGUEZ, D.; KELTJENS, W.G.; GOUDRIAAN, J. Plant leaf area expansion and assimilate production in wheat (*Triticum aestivum* L.) growing under low phosphorus conditions. **Plant and Soil** v.200; p. 227–240. 1998.
- ROHLF, F. J. **TpsDig version 2.** Dept. of Ecology & Evolution: Stony Brook University. 2010.
- ROYER, D. L.. et al. Sensitivity of leaf size and shape to climate within *Acer rubrum* and *Quercus kelloggii*. **New Phytol.** v. 179, p. 808-817, n. 3, 2008.
- SAENGER, P. **Mangrove ecology, silviculture and conservation.** Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, The Netherlands. 2002.
- SCHAEFFER- NOVELLI, Y. (coord.). **Manguezal: Ecossistema entre a Terra e o Mar.** São Paulo: Caribbean Ecological Research. 1995.
- SCHLICHTING, C. D., Phenotypic plasticity in plants. **Plant Species Biology,** v. 17, n. 2-3, p. 85–88, 2002.
- SILVA, M.F.S.; de Andrade, I. M.; Mayo, S.J. Geometric morphometrics of leaf blade shape in *Montrichardia linifera* (Araceae) populations from the Rio Parnaíba delta, north-east Brazil. **Bot. J. Linn. Soc.** v. 170, p. 554–572. 2012.
- SLATKIN, M. Gene flow and the genetic structure of natural populations. **Science,** v. 236, p. 787–792, 1987.
- _____. Isolation by distance in equilibrium and non-equilibrium populations. **Evolution,** v. 47, p. 264–279, 1993.
- SOBRADO, M. A; MEDINA, E. General morphology, anatomical structure, and nutrient content of sclerophyllous leaves of the "bana" vegetation of Amazonas. **Oecologia,** v. 45, 341-345, 1980.

SOTO, R.; JIMÉNEZ, J.A. Análisis fisionómico estructural del manglar de Puerto Soley, La Cruz, Guanacaste, Costa Rica. **Revista de Biología Tropical**, v. 30, p.161-168, 1982.

STONE, C.; BACON, P.E. Leaf dynamics and insect herbivory in a *Eucalyptus camaldulensis* forest under moisture stress. **Australian Journal of Ecology**. v. 20, p. 473 – 481. 1995.

SUPERINTENDÊNCIA DE RECURSOS HÍDRICOS – SRH/ SUPLANTAR/SE. Atlas Digital sobre Recursos Hídricos. CD-r, 2014.

TOMLINSON, P. B. **The Botany of Mangroves**. New York: Cambridge University Press, 1986. 170p.

VALLADARES, F., SANCHEZ-GOMEZ, D. ZAVALA, M. A. Quantitative estimation of phenotypic plasticity: bridging the gap between the evolutionary concept and its ecological applications. **Journal of Ecology**. v. 94, n. 6, p. 1103–1116, 2006.

VALLADARES, F.; GIANOLI, E.; GÓMEZ, J. M. Ecological limits to plant phenotypic plasticity. **New Phytologist**, v. 176, n°. 4, p. 749–763. 2007.

VALLHAY, J.; LACERDA, L.D. Alterações nas características do solo após a fixação de *Neoregelia cruenta* (R. Gran) L. Smith (Bromeliaceae), em um ecossistema de restinga. **Ciência e Cultura**, v. 32, p. 863-867, 1980.

VIEIRA, M., MAYO, S. J.; ANDRADE, I. M. de. Geometric morphometrics of leaves of *Anacardium microcarpum* Ducke and *A. occidentale* L. (Anacardiaceae) from the coastal region of Piauí, Brazil. **Brazilian Journal of Botany**, v.37, n. 3, p. 315-327, 2014.

VISCOSI, V.; CARDINI, A. Leaf morphology, taxonomy and geometric morphometrics: a simplified protocol for beginners. **PLoS ONE** v 6 (10), 2011.

VISCOSI, V. Geometric morphometrics and leaf phenotypic plasticity: assessing fluctuating asymmetry and allometry in European white oaks (*Quercus*). v 179, n. 2, p. 335–348, 2015.

VITOUSEK, P.M.; SANFORD, R.L. Nutrient cycling in moist tropical forest. **Annual Review of Ecology and Systematics** v.17, p. 137-167. 1986.

WALSH, G.E. Mangroves: a review. In: REINHOLD, R.J., QUEEN, W.H (Eds). **Ecology of halophytes**. New York: Academic Press, p. 51–174, 1974.

WEBB, L. J.. Environmental relationships of the structural types of Australian rain forest vegetation. **Ecology**. v. 49. p. 296 – 311. 1968.

WOLFE, J.A. Paleoclimatic estimates from tertiary leaf assemblages. **Annual Review of Earth and Planetary Sciences**. v. 23, p. 119 –142, 1995.

WOODROFFE, C.D. Mangrove sediments and geomorphology. In: ALONGI, D.; ROBERTSON, A. (Eds.). Tropical Mangrove Ecosystems. **Coastal and Estuarine Studies**. American Geophysical Union, Washington, DC, p. 7–41, 1992.

WRIGHT, S. Evolution in mendelian populations. **Genetics** v.16, p. 97– 159, 1931.

_____. **The roles of mutation, inbreeding, crossbreeding, and selection in evolution**. Proceedings of the XI International Congress of Genetics, v. 1, p. 356–366, 1932

_____. Surface of selective value revisited. **American Naturalist**, v. 131, p.115–123, 1988

CAPÍTULO 5

TENSORES ANTROPOGÊNICOS NO PROCESSO DE TRANSFORMAÇÃO DOS MANGUES DE UM COMPLEXO ESTUARINO: VULNERABILIDADE E VARIAÇÃO MORFOANATÔMICA

TENSORES ANTROPOGÊNICOS NO PROCESSO DE TRANSFORMAÇÃO DOS MANGUES DE UM COMPLEXO ESTUARINO: VULNERABILIDADE E VARIAÇÃO MORFOANATÔMICA

Sindiany Suelen Caduda dos Santos
Edilson Divino de Araújo
Rosemeri Melo e Souza

RESUMO

Este artigo avalia a vulnerabilidade dos mangues *Avicennia schaueriana* Stapf & Laechm, *Laguncularia racemosa* (L.) Gaert f. and *Rhizophora mangle* L. no complexo estuarino de Sergipe, Real-Piauí-Fundo, em meio aos tensores antropogênicos atuantes e a possível relação destes com a plasticidade fenotípica das plantas, a partir da morfometria geométrica foliar. De abordagem quali-quantitativa, a metodologia foi construída a partir das observações sistemáticas realizadas nos estuários inferior, médio e superior, da fixação de atributos de tensão antrópica, da determinação de pesos para o conjunto de tensores antropogênicos atuantes sobre os mangues e do estabelecimento de níveis de vulnerabilidade, com adaptações da literatura. Para análise da plasticidade fenotípica, foram utilizados os resultados das análises da morfometria geométrica das folhas de mangues, dos autores deste artigo, com o propósito de fazer análises de regressão linear entre forma, tamanho e tensores antrópicos. Sobre a análise de vulnerabilidade nas áreas amostradas, foi classificada na ordem de atuação do conjunto de tensores: estuário superior > estuário inferior > estuário médio. Assim, o estuário médio constitui a área de menor tensão antrópica, em relação às outras localidades, e o estuário superior corresponde à área de maior vulnerabilidade. O estuário superior também apresentou a maior parte da faixa de mangues fora dos limites do polígono da Área de Proteção Ambiental do Litoral Sul, o que agrava a degradação das florestas de manguezal. Apesar disso, a sensibilidade do estuário inferior e médio, que estão dentro da APA, classificou-se como elevada e moderada, respectivamente, revelando que os mangues de todo o complexo estuarino estão sujeitos aos riscos das ações humanas. Em relação à análise da plasticidade fenotípica, associada aos tensores antropogênicos, foi identificado que tanto a forma como o tamanho das folhas de *A. schauerianna* e *R. mangle* apresentaram valores significativos ($p < 0.05$), ao contrário da *L. racemosa*. Logo, se as áreas que estão abrangidas pelos limites da APA mostraram-se vulneráveis, mesmo sendo protegidas legalmente, mais preocupante é a situação dos mangues que não estão inclusos dentro da Área de Proteção Ambiental, pois fazem parte das áreas de vulnerabilidade extrema. Os resultados indicam que os mangues do litoral sul têm chances significativas de desaparecerem, caso nenhuma medida efetiva seja tomada.

Palavras-chave: Vulnerabilidade de mangues. Tensores antrópicos. Forma e Tamanho das folhas. Plasticidade fenotípica. Sergipe.

ANTHROPOGENIC TENSORS IN THE PROCESS OF TRANSFORMATION OF THE MANGROVES IN A ESTUARY COMPLEX: VULNERABILITY AND MORFOANATOMIC VARIATION

ABSTRACT

This article evaluates the vulnerability of the mangroves *Avicennia schaueriana* Stapf, *Laguncularia racemosa* (L.) Gaert f. Laechm and *Rhizophora mangle* L. in the estuary complex of Sergipe, Real-Piauí-Fundo, among the active anthropogenic tensors and the possible relation of these factors with the phenotypic plasticity of the plants, from the geometric morphometrics of the leaves. From a quali-quantitative approach, the methodology was created from systematic observations conducted in the inferior, middle and superior estuaries, from the fixation of attributes of anthropic tension, from the setting of weights for the group of anthropogenic tensors acting over the mangroves, and from the establishment of levels of vulnerability, with adaptations of literature. For the analysis of the phenotypic plasticity, the results of the analyses of the geometric morphometrics of the leaves of the mangroves were used, from the authors of this article, with the purpose of making analyses of linear regression among shape, size and anthropic tensors. About the analysis of vulnerability in the sampling areas, the order of action in the group of tensors: superior estuary > inferior estuary > middle estuary was categorized. Thus, the middle estuary constitutes the area with the least anthropic tension, related to other places, and the superior estuary correspond to the area with the biggest vulnerability. The superior estuary also presented the biggest area of mangroves out of the limits of the polygon of the Area of Environmental Protection of the Southern Coast, which worsens the degradation of the mangrove forests. Nevertheless, the sensitiveness of the inferior and middle estuaries, which are inside the APA, were categorized as elevated and moderate respectively, revealing that all the mangroves of the whole estuary complex are subject to the risks of the human actions. Regarding the analysis of the phenotypic plasticity, associated to anthropogenic tensors, it was identified that both the shape and the size of the leaves of *A. schaueriana* e *R. mangle* presented significant values of ($p < 0.05$), in contrast to *L. racemosa*. Then, if the areas which are inside the limits of the APA have showed vulnerability, even being legally protected, the situation of the mangroves which are not included in the Area of Environmental Protection (APA) is more worrying, because they are part of an extreme vulnerability area. The results indicated that the mangroves on the Southern coast have significant chances to disappear, in the case no effective action is taken.

Keywords: Vulnerability of Mangroves. Anthropogenic tensors. Shape and size of the leaves. Phenotypic Plasticity. Sergipe.

5.1 INTRODUÇÃO

As espécies de mangues *Avicennia schaueriana* Stapf e Laechm, *Rhizophora mangle* L. e *Laguncularia racemosa* (L.) Gaert f., sobrevivem na costa brasileira, desde o Amapá até Santa Catarina, e sobrevivem em meio à atuação de tensores antropogênicos que podem provocar níveis de vulnerabilidade distintos e respostas plásticas diferenciadas, as quais podem ser observadas na estrutura foliar das plantas.

A vulnerabilidade dos sistemas ambientais pode ser investigada atrelando-se o termo à exposição a pressões diversas, ao impacto ambiental, seja ele real ou potencial, à sensibilidade do sistema ecológico, à capacidade adaptativa social, à resiliência e à susceptibilidade à ocorrência de efeitos negativos (BRASIL, 2010). Ou seja, o conceito de vulnerabilidade tem sido utilizado de diversas formas na área científica (ADGER, 2006), algo que depende do interesse e do objeto de estudo.

Segundo Gallopín (2003, 2006) a vulnerabilidade ambiental refere-se à susceptibilidade de um sistema ambiental a um possível dano ou à transformação, quando submetido à pressão do ambiente, descartando a ideia de vulnerabilidade como análise da medida do dano real. Ele ainda destacou que o termo tem sido amplamente investigado cientificamente do ponto de vista dos estressores externos que perturbam o ambiente, da sensibilidade e da capacidade adaptativa do sistema ambiental.

O estresse é considerado como o aumento paulatino da pressão sobre o sistema ambiental e que pode ser interna ou externa a ele. O acúmulo destas pressões pode gerar picos, o que é denominado perturbação, a qual, portanto, pode ser decorrente de fatores internos ou externos ao ambiente, capazes de induzir a uma transformação significativa no sistema (TURNER et al., 2003). Estes autores ressaltaram que o resultado de um sistema ambiental submetido ao estresse e à perturbação, configura em riscos. Contudo, Gallopín (2006) ressaltou que um sistema não pode ser chamado de vulnerável se o efeito da perturbação gera mudanças que podem ser consideradas como efêmeras, pois, dificilmente tais modificações causariam transformação no sistema. No caso da atuação de tensores antropogênicos relacionados ao uso e ocupação desordenada dos manguezais brasileiros, observa-se que a pressão é intensificada de tal maneira que processos de perturbação ambiental podem ser irreversíveis. Prates et al. (2012), afirmaram que os referidos tensores constituem a principal causa de fragmentação dos manguezais brasileiros.

Outro conceito associado à vulnerabilidade é a sensibilidade, a qual, entre as diversas opiniões foi entendida por Gallopín (2003) como o grau em que um sistema é modificado ou afetado por algum distúrbio ou por um conjunto de perturbações. Adger (2006) também entendeu conceito de sensibilidade como Gallopín (2003), mas acrescentou que esta se relaciona ao grau em que o sistema pode absorver as pressões sem demonstrar alterações em longo prazo.

O terceiro conceito associado à vulnerabilidade refere-se à capacidade de resposta do sistema ambiental, ou à capacidade de adaptação, conforme trataram Smit e Wandel (2006) e o IPCC (2007), os quais abordaram adaptação como a reestruturação do sistema após as respostas. Para Gallopín (2006) e Embrapa (2010), a capacidade de resposta refere-se ao quanto o sistema consegue ajustar-se a uma perturbação e aos danos gerados, é capaz de fazer uso dos recursos ou oportunidades, e é capaz de responder às mudanças ambientais que podem ocorrer. Acrescentou Gallopín (2006) que a capacidade de resposta é uma característica do sistema ambiental, portanto, existe antes mesmo de qualquer perturbação.

A partir desses três critérios, Gallopín (2006) e Embrapa (2010) consideraram que um sistema ambiental está mais vulnerável quando as pressões ambientais estão elevadas, bem como a sua sensibilidade, e a capacidade de resposta reduz em contrapartida. Ou seja, vulnerabilidade = <pressão ambiental; <sensibilidade e > capacidade de resposta.

Na perspectiva da análise da vulnerabilidade, as folhas de mangues também podem constituir relevantes elementos de identificação da capacidade de resposta das plantas às alterações antropogênicas. Enquanto órgãos sensíveis às variações ambientais, a estrutura foliar sofre modificações morfológicas e fisiológicas que irão depender do nível de estresse a que as plantas estão submetidas. (BURCHETT et al., 1989). Desse modo, a investigação das variações morfoanatômicas é uma relevante forma de diagnosticar a situação da flora em relação aos componentes antrópicos que agem de maneira negativa, com vistas à conservação dos mangues.

Portanto, a investigação da vulnerabilidade do manguezal em um complexo estuarino, a partir da análise do quanto este ecossistema encontra-se suscetível aos tensores antropogênicos da região é relevante à medida que a identificação dos principais estressores locais, da sensibilidade e da capacidade de resposta dos mangues, utilizando técnicas morfométricas como instrumentos de análise da relação entre

tensores antropogênicos e modificações morfoanatômicas da folha, revelam resultados de potenciais áreas vulneráveis e incentivam o estabelecimento de estratégias para conservação dos manguezais.

Para tanto, o litoral sul sergipano, por constitui um dos ambientes marcados pela apropriação dos espaços estuarinos, afetados principalmente pelo turismo, carcinicultura e veraneio (SANTOS, 2008; SANTOS, WANDERLEY, 2010), desde 1985, e por contar com os mangues mais desenvolvidos de Sergipe no complexo estuarino Real-Piauí-Fundo (SERGIPE, 1984; SOUZA e COUTO, 2002; CARVALHO e FONTES, 2006), foi a área designada para investigação da vulnerabilidade e da plasticidade fenotípica foliar dos mangues, a partir de técnicas de morfometria geométrica.

Dessa maneira, este artigo avaliou a vulnerabilidade dos mangues *Avicennia schauерiana*, *Rhizophora mangle* e *Laguncularia racemosa* em um complexo estuarino, Real-Piauí-Fundo, Sergipe, em meio aos tensores antropogênicos atuantes e a possível relação destes com a plasticidade fenotípica das plantas, a partir da morfometria geométrica foliar.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

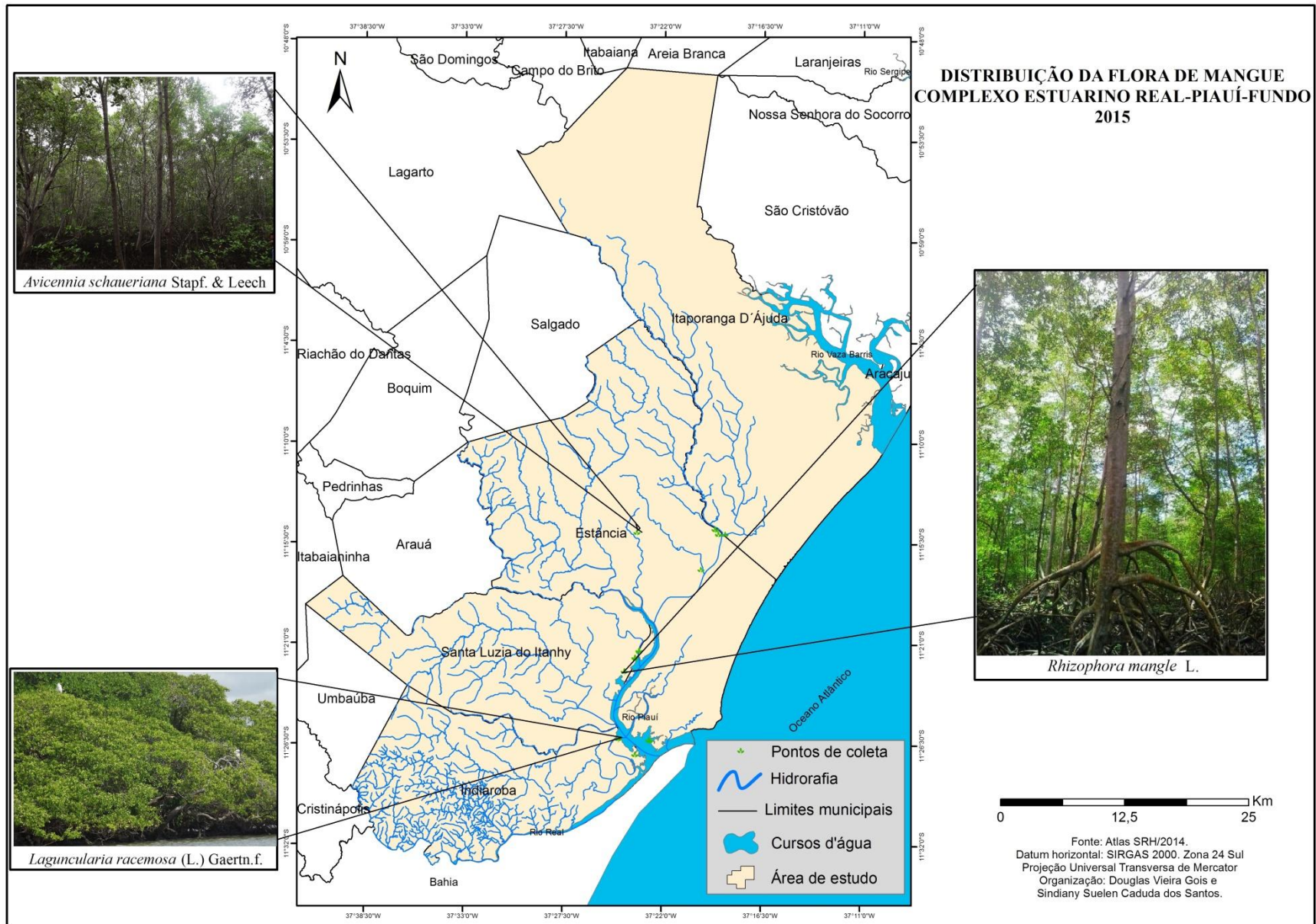
Entre os anos de 2012 a 2015 foram feitas observações sistemáticas de campo ao longo do complexo estuarino Real-Piauí-Fundo para identificar os principais tensores antropogênicos que interferem diretamente ou indiretamente sobre as espécies *A. schauерiana*, *L. racemosa* e *R. mangle*, nos estuários inferior, médio e superior e analisar a vulnerabilidade destes tensores para os mangues.

Além disso, foram utilizados os resultados da morfometria geométrica do trabalho intitulado “Plasticidade Fenotípica e Morfometria Geométrica em folhas de mangues (*Avicennia schauерiana* Stapf & Leechm., *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn.F. e *Rhizophora mangle* L.) de um complexo estuarino, Brasil, para análise da relação entre tensores antropogênicos e as variações morfoanatômicas foliares.

5.2.1 Área de estudo

Foram escolhidos três sítios do complexo estuarino Real-Piauí-Fundo para investigação: estuário inferior, estuário médio e estuário superior, conforme indicado na figura 5.1, onde são destacados os pontos amostrais das espécies *A. schaueriana*, *L. racemosa* e *R. mangle*. De acordo com Duke (1990), a área de ocorrência dos mangues situados mais distantes da foz do rio é chamada de estuário superior, a região mais intermediária em relação à foz é denominada estuário médio e a região mais próxima da foz chama-se estuário inferior.

Figura 5.1: Áreas de observação sistemática da atuação dos tensores antropogênicos - complexo estuarino Real-Piauí-Fundo, Sergipe.



5.2.2 Procedimentos metodológicos

Inicialmente foram estabelecidos os pontos de amostragem nas áreas de manguezal do complexo estuarino Real-Piauí-Fundo, seguidos de observações sistemáticas realizadas em dezesseis trabalhos de campo, entre os anos de 2012 e 2015 (Quadro 5.1).

Quadro 5.1: Pontos de observação sistemática da atuação de tensores antropogênicos em áreas de manguezal, nos estuários inferior, médio e superior do complexo estuarino Real-Piauí-Fundo, Sergipe.

Estuário	Localidade	Localização	
		Longitude	Latitude
EI	Estância (Rio Piauí)	-37.37672	-11.43844
	Indiaroba	-37.40571	-11.43682
	Indiaroba	-37.39024	-11.45098
EM	Estância	-37.38706	-11.35723
	Santa Luzia do Itanhy	-37.39059	-11.36273
	Santa Luzia do Itanhy	-37.40051	-11.37548
ES	Estância (Rio Fundo)	-37.33028	-11.28245
	Itaporanga D'Ajuda (Rio Fundo)	-37.31709	-11.24596
	Estância (Rio Fundo)	-37.31424	-11.2502

EI (estuário inferior), EM (estuário médio) e ES (estuário superior).

Fonte: Elaborado por Sindiany Santos (2015), a partir das investigações de campo.

Em seguida, foram determinados os atributos e indicadores de tensão antropogênica para avaliação da vulnerabilidade dos mangues, *A. schaueriana*, *L. racemosa* e *R. mangle*, do complexo estuarino, sujeitos aos diversos fatores antrópicos. A classificação dos níveis de vulnerabilidade foi determinada mediante as adaptações feitas à metodologia de níveis de vulnerabilidade elaborada por Laranjeira (1997) e Oliveira e Melo e Souza (2010). Para tanto, tomou-se como base o grau de transformação dos mangues e a sensibilidade ao tensor antropogênico (Quadro 5.2).

Quadro 5.2: Níveis de vulnerabilidade biofísica do ecossistema manguezal.

Nível	Porcentagem	Classificação	Características	Sensibilidade ao tensor antropogênico
Nível 0	0- 20%	Muito fraca	O grau de transformação do sistema de manguezal não coloca em risco a capacidade de regeneração do ecossistema.	Sensibilidade baixa
Nível 1	20-40%	Fraca	Neste nível as mudanças já podem ser vistas no conjunto do sistema.	Sensibilidade média
Nível 2	40-60%	Moderada	A degradação passa a ser significativa e devem ser feitas restrições para utilização do manguezal.	Sensibilidade moderada
Nível 3	60- 80%	Forte	As pressões antropogênicas são significativas e o manguezal não apresenta resistência ao tensor.	Sensibilidade elevada
Nível 4	80-100%	Muito forte	Degradação severa observada em todo o sistema ambiental	Sensibilidade extrema

Fonte: Elaborado por Sindiany Santos (2015), modificado e adaptado de Laranjeira (1997), Oliveira e Melo e Souza (2010).

Dessa forma, foi construído o quadro com os atributos e indicadores de tensão antropogênica dos estuários inferior, médio e superior, determinada a classificação dos níveis de vulnerabilidade e estabelecimento de pesos de tensão antropogênica para cada fator antrópico (Quadro 5.3).

A partir da porcentagem de cada nível de vulnerabilidade (0% - 20% - muito fraca, 20% - 40% - fraca, 40% - 60% - moderada, 60% - 80% - forte e 80% - 100% - muito forte) correspondente ao grau de transformação dos manguezais e à sensibilidade destes aos tensores antropogênicos, como aponta o quadro 5.2, os pesquisadores definiram a probabilidade de transformação do ecossistema, estabelecendo a intensidade dos efeitos dos tensores antropogênicos numa escala de 0% a 100%. Os valores percentuais determinados foram transformados na base dez (Quadro 5.3).

Quadro 5.3: Atributos, indicadores ambientais, níveis de vulnerabilidade e valores de tensão antropogênica do manguezal do litoral sul sergipano.

Atributos de tensão antrópica	Indicador (ordem crescente de tensão sobre o manguezal)	Código do tensor	Níveis de vulnerabilidade	Porcentagem (%)	Valores do tensor antropogênico (valor% / 10)
Tipos de embarcação	Caiaque	A	0	10	1
	Barco com motor de rabeta	B	0	10	1
	Barco com motor de popa	C	0	10	1
	Lancha	D	0	10	1
Modos de pesca	Pesca com rede	E	0	15	1,5
	Mariscagem	F	1	20	2
	Pesca de camboa	G	1	60	6
Estado de degradação dos manguezais	Presença de resíduos no mangue	H	2	40	4
	Espécies de flora invasora	I	2	40	4
	Tombamento de árvores	J	2	45	4,5
	Corte de árvores	K	2	60	6
	Queimadas	L	2	60	6
Uso e ocupação do solo	Exploração imobiliária	M	3	80	8
	Tanques de carcinicultura	N	3	80	8
	Presença de ponte	O	3	80	8
	Aterro dos manguezais	P	4	100	10

Fonte: elaborado por Sindiany Santos (2015).

O quadro 5.3 serviu de subsídio para a construção do quadro de análise da atuação dos tensores antropogênicos em conjunto e determinação dos pesos do conjunto de tensores que atuam sobre cada espécie de mangue (Quadro 5.4). O peso do conjunto dos tensores antropogênicos, por espécie, foi calculado mediante o somatório dos valores de cada tensor antropogênico na base dez. Em seguida, a fim de reduzir a subjetividade dos valores resultantes, estes foram padronizados, mediante aplicação da fórmula:

$$X = (soma\ dos\ valores\ de\ tensão \cdot 10) / valor\ maior\ do\ tensor)$$

Quadro 5.4: Conjunto de tensores antropogênicos, somatório dos pesos atribuídos e reescalonamento da escala de vulnerabilidade atribuídos aos mangues do litoral sul sergipano. .

Espécies	Localidade	Conjunto de tensores antropogênicos em cada estuário.	Pesos do conjunto dos tensores antropogênicos	Reescalonamento da escala de vulnerabilidade ($X = \text{soma dos valores de tensão} \times 10 / \text{valor maior do tensor}$)
AI	Estância (Rio Piauí)	A+B+C+D+E+F+H+K+M+O	33,5	7
LI	Indiaroba	A+B+C+D+E+F+O	15,5	2,8
RI	Indiaroba	A+B+C+D+E+F+H+L+O	25,5	4,7
AM	Estância (Rio Jacaré)	B+C+E+F+H+J+K	20	3,7
LM	Santa Luzia do Itanhy	B+C+E+F+H+K	15,5	2,8
RM	Santa Luzia do Itanhy	B+C+E+F+J	10	1,8
AS	Estância (Rio Fundo)	A+B+C+D+E+F+H+I+K+L+M+N+P	53,5	10
LS	Itaporanga D'Ajuda (Rio Fundo)	A+B+C+D+E+F+G+I+K+M+N+P	49,5	9,2
RS	Estância (Rio Fundo)	A+B+C+D+E+F+H+J+K+M+N+P	47,5	8,8

AI, AM e AS (*Avicennia schaueriana* nos estuário inferior, médio e superior); LI, LM, LS (*Laguncularia racemosa* nos estuários inferior, médio e superior); RI, RM, RS (*Rhizophora mangle* nos estuários inferior, médio e superior).

Fonte: elaborado por Sindiany Santos (2015).

Este quadro 5.4 foi a base para classificação de cada setor investigado quanto ao nível de vulnerabilidade dos mangues, em relação ao conjunto de tensores antropogênicos atuantes. Tal classificação permitiu a observação dos resultados em forma de quadro, contendo os níveis de vulnerabilidade dos estuários, e de gráfico. Também foi feita a espacialização, a partir dos resultados, no *software* ArcGis, versão 2010.2 (ESRI, 2010). Neste programa foi criado *buffer* de 1 km em relação à área do rio, com o objetivo de abranger as áreas de manguezal visitadas durante os trabalhos de campo. Nele, também foi inserida a Área de Proteção Ambiental do Litoral Sul, com o propósito de relacionar os níveis de vulnerabilidade do complexo estuarino e o papel legal da APA na conservação do manguezal analisado.

Posteriormente, a partir dos resultados do trabalho científico, intitulado “Plasticidade Fenotípica e Morfometria Geométrica em folhas de mangues (*Avicennia*

schaueriana Stapf & Leechm., *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn.F. e *Rhizophora mangle* L.) de um complexo estuarino, Brasil”, foi feita a análise da interferência dos tensores antropogênicos sobre a variação da forma e tamanho das folhas dos mangues pesquisados.

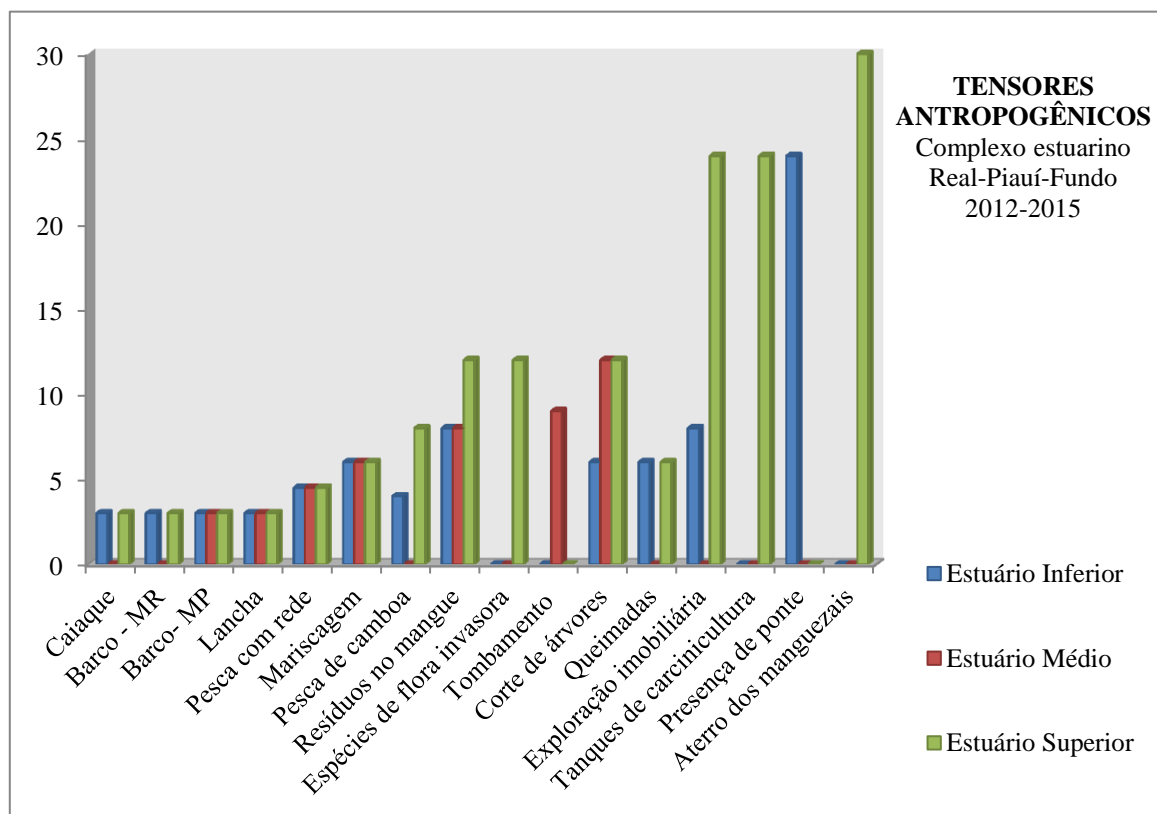
No âmbito da análise, foram inseridos os valores de vulnerabilidade atribuídos após o reescalonamento (Quadro 5.4) no *software* MorphoJ (KLINGENBERG, 2011) para análise da relação tensores antropogênicos *versus* a forma e tamanho da folha de cada espécie de mangue. No programa foi feita análise de regressão linear com teste de 1.000 permutações e os resultados foram analisados a partir da significância indicada pelo valor de *p*.

5.3 RESULTADOS

5.3.1 Vulnerabilidade dos mangues em relação aos tensores antropogênicos – estuário inferior, médio e superior

Ao longo do complexo estuarino foi observado que existe variação quanto à presença dos tensores antropogênicos que atuam em cada localidade investigada. O gráfico 5.1 indica como cada estuário está relacionado aos tensores antropogênicos, em ordem crescente de vulnerabilidade.

Gráfico 5.1: Tensores antropogênicos atuantes nas localidades de investigação do complexo estuarino Real-Piauí-Fundo.



Barco – MR (Barco a motor de rabeta); Barco – MP (Barco a motor de popa).
Fonte: Elaborado por Sindiany Santos (2015).

Os resultados dos gráficos acima mostram o percentual de contribuição de cada tensor, em cada estuário, separadamente. Porém, ao observar a atuação dos tensores em conjunto foi possível classificar os estuários quanto aos níveis de vulnerabilidade dos mangues e, conseqüentemente, avaliar a sensibilidade deles nos setores (Quadro 5.6).

Quadro 5.5: Caracterização dos tensores, níveis e valores de vulnerabilidade para os mangues nos estuários inferior, médio e superior do complexo estuarino Real-Piauí-Fundo.

Espécies	Localidade	Conjunto de tensores antropogênicos, por espécie em cada estuário.	Níveis de vulnerabilidade identificados	Sensibilidade ao tensor antropogênico
AM	Estância (Rio Jacaré)	B+C+E+F+H+J+K	Nível 2	Moderada
LM	Santa Luzia do Itanhhy	B+C+E+F+H+K	Nível 2	Moderada
RM	Santa Luzia do Itanhhy	B+C+E+F+J	Nível 2	Moderada
AI	Estância (Rio Piauí)	A+B+C+D+E+F+H+K+M+O	Nível 3	Elevada
LI	Indiaroba	A+B+C+D+E+F+O	Nível 3	Elevada
RI	Indiaroba	A+B+C+D+E+F+H+L+O	Nível 3	Elevada
AS	Estância (Rio Fundo)	A+B+C+D+E+F+H+I+K+L+M+N+P	Nível 4	Extrema
LS	Itaporanga D'Ajuda (Rio Fundo)	A+B+C+D+E+F+I+K+M+N+P	Nível 4	Extrema
RS	Estância (Rio Fundo)	A+B+C+D+E+F+H+J+K+M+N+P	Nível 4	Extrema

AI, AM e AS (*Avicennia schaueriana* nos estuário inferior, médio e superior); LI, LM, LS (*Laguncularia racemosa* nos estuários inferior, médio e superior); RI, RM, RS (*Rhizophora mangle* nos estuários inferior, médio e superior).

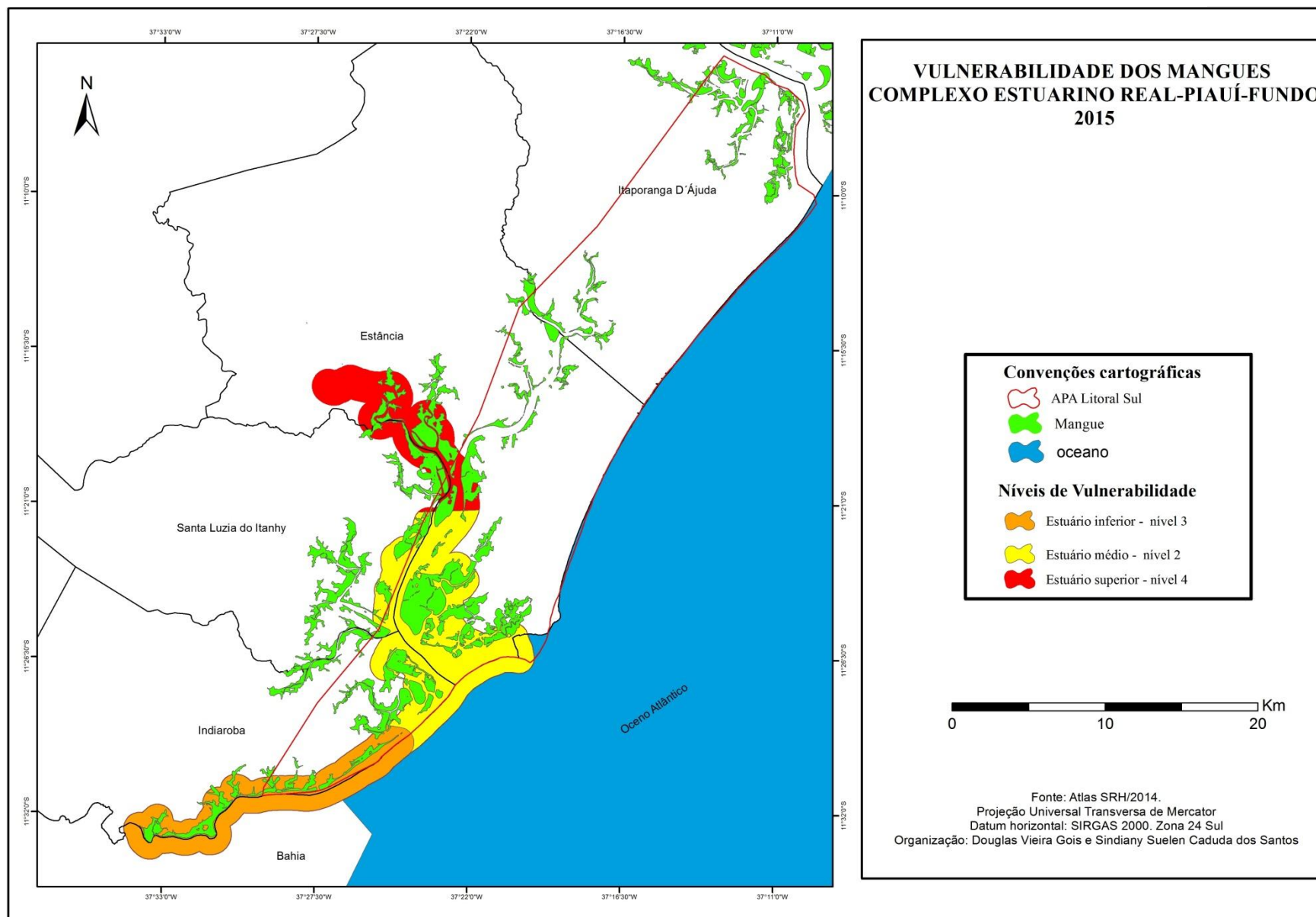
Fonte: elaborado por Sindiany Santos (2015).

O quadro 5.5 mostra que os níveis de vulnerabilidade ocorrem seguindo o padrão: estuário superior > estuário inferior > estuário médio. Resultado que faz do estuário médio à área onde as ações humanas tencionam menos os bosques de mangues, quando comparado às outras localidades, e o estuário superior como área de vulnerabilidade e sensibilidade extrema.

A figura 5.2 ilustra a classificação dos estuários quanto aos seus níveis de vulnerabilidade e revela como o complexo estuarino está inserido dentro da Área de Proteção Ambiental do litoral sul, de modo em que se observa que a área de maior vulnerabilidade está fora do polígono da APA delimitado pelo Atlas Digital da SRH

(2014), mesmo apresentando considerável área de manguezal. Apesar disso, considere-se que a sensibilidade do estuário inferior e médio classifica-se como elevada e moderada, respectivamente, o que revela que mesmo inseridos dentro da APA, os mangues estão sujeitos aos riscos das ações humanas.

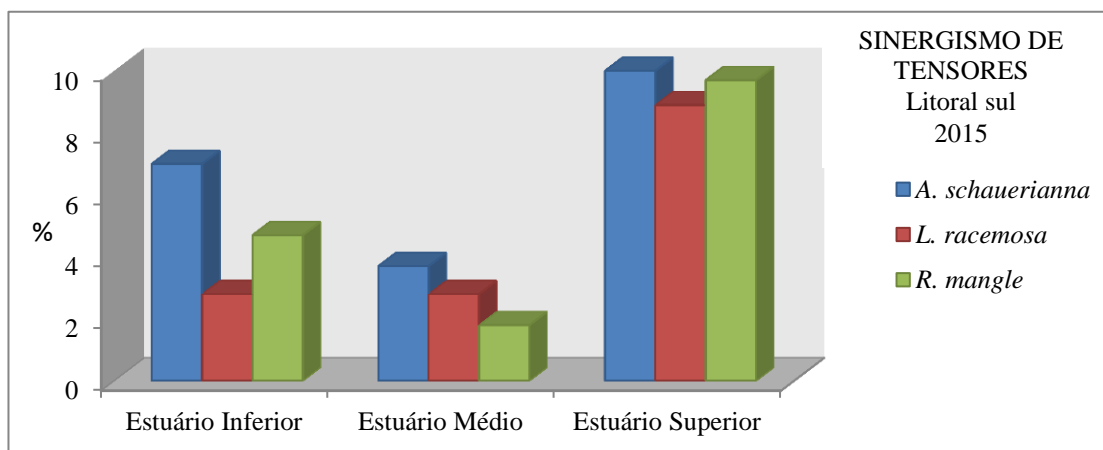
Figura 5.2: Vulnerabilidade do manguezal no complexo estuarino Real-Piauí-Fundo e demarcação da Área de Proteção Ambiental do Litoral Sul de Sergipe.



5.3.2 Significância dos tensores antropogênicos em relação à forma e tamanho das folhas de mangues

Observada a vulnerabilidade das áreas de manguezal, indicadas a partir de coletas feitas em ambientes de ocorrência das espécies *A. schaueriana*, *L. racemosa* e *R. mangle* e somadas às pressões ocorrentes *in locu*, foi permitido observar a sinergia dos tensores antropogênicos em relação a cada estuário (Gráfico 5.2).

Gráfico 5.2: Conjunto de tensores antropogênicos atuantes nas localidades de investigação do complexo estuarino Real-Piauí-Fundo, para *Avicennia schaueriana*, *Laguncularia racemosa* e *Rhizophora mangle*.



Fonte: Elaborado por Sindiany Santos (2015).

Ao considerar a influência direta dos tensores antropogênicos sobre os manguezais do complexo estuarino, acredita-se que uma série de processos ecológicos, essenciais à sobrevivência do sistema ambiental costeiro são afetados. O quadro 5.6 apresenta alguns dos relevantes processos potencialmente afetados pelas classes de tensores descritos.

Quadro 5.6: Principais fatores de impacto, estruturais e processos ecológicos afetados pelos tensores antropogênicos do Complexo estuarino Real-Piauí-Fundo.

Tensor antropogênico	Principais fatores de impacto sobre os manguezais	Principais fatores estruturais afetados nos manguezais	Principais processos ecológicos afetados dos manguezais
Obras civis	Qualidade das águas	Banco de sementes	Regeneração
		Fauna aquática	Regeneração
	Qualidade do ar	Fauna aquática	Ciclagem de nutrientes
		Flora	Regeneração
	Qualidade do solo	Fauna aquática	Regeneração
		Flora	Ciclagem de nutrientes
	Modificação na dinâmica das correntes	Erosão do solo	Regeneração
		Sedimentação	Ciclagem de nutrientes
	Fragmentação	Conectividade entre áreas de manguezal	Regeneração
			Dispersão
	Perda de habitat	Tamanho do habitat	Polinização
		Qualidade do habitat	Funcionamento do ecossistema de manguezal
		Diversidade biológica	
	Desmatamento	Banco de sementes	Ciclagem de nutrientes
		Fauna	Regeneração
		Recursos hídricos	Modificação na dinâmica de alimentação da fauna
		Microclima	Ciclagem de nutrientes
Turismo	Desmatamento	Banco de sementes	Existência de grupos biológicos funcionais
		Fauna	
		Recursos hídricos	
		Microclima	
	Ocorrência de espécies competidoras	Espécies exóticas	Regeneração
			Sobrevivência dos mangles
	Qualidade dos cursos d'água	Flora	Ciclagem de nutrientes
		Fauna	Regeneração
	Poluição sonora	Fauna	Ciclagem de nutrientes
	Qualidade do ar	Fauna aquática	Ciclagem de nutrientes
		Flora	Regeneração
Carcinicultura	Poluição hídrica	Flora	Regeneração
		Fauna	Sobrevivência dos mangles
	Salinização dos lençóis freáticos	Flora	Sobrevivência da fauna
		Fauna	Funcionamento do manguezal
			Sobrevivência dos mangles
	Ocorrência de espécies exóticas	Flora	Sobrevivência da fauna residente do manguezal
		Fauna	Regeneração dos mangles
Resíduos sólidos e líquidos	Poluição aquática	Flora	Alteração na distribuição e ocorrência de espécies
		Fauna	Regeneração dos mangles

Fonte: Elaborado por Sindiany Santos (2015).

Após observar a atuação do conjunto de tensores antropogênicos, por espécie, em cada estuário, as análises de regressão linear entre a forma e o conjunto de tensores antropogênicos e deste último com o tamanho da folha dos mangues, apontaram que o conjunto de tensores não interfere na forma e nem no tamanho da folha da espécie *L. racemosa* ($p>0.05$). Porém, houve interferência dos tensores na forma e tamanho das folhas de *A. schaueriana* e *R. mangle* ($p<0.05$) (Tabela 5.1).

Tabela 5.1: Valor preditivo e significância obtida a partir da análise de regressão linear da forma e tamanho das folhas de *Avicennia schaueriana*, *Laguncularia racemosa* e *Rhizophora mangle*, em relação ao conjunto de tensores antropogênicos dos estuários inferior, médio e superior.

Conjunto de tensores antropogênicos	<i>Avicennia schaueriana</i>		<i>Laguncularia racemosa</i>		<i>Rhizophora mangle</i>	
	Análise de forma	Análise de tamanho	Análise de forma	Análise de tamanho	Análise de forma	Análise de tamanho
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
	0,1546 ^{ns}	0,3024 ^{ns}	0,0391 ^{ns}	0,0276 ^{ns}	0,2208**	0,1962**

** Significativo ($p<0.01$) / ns= não houve significância ($p>0.05$).

Fonte: Elaborado por Sindiany Santos (2015), a partir do uso dos *softwares* MorphoJ (KLINGENBERG, 2011) e PAST.

5.4 DISCUSSÃO

5.4.1 Vulnerabilidade e tensores antropogênicos no complexo estuarino Real-Piauí-Fundo

Os problemas da degradação dos manguezais ocorrem na mesma medida de desrespeito e uso desordenado que são praticados pelo homem. Ainda que existam tensores naturais responsáveis por algum tipo de distúrbio, nada se compara a atuação devastadora do homem sobre os manguezais do litoral sul sergipano.

Nesse sentido, é importante ressaltar que os tensores antropogênicos podem gerar desde distúrbio agudo, quando ocorre por um período de tempo limitado, ao distúrbio crônico, quando o tensor atua por tempo mais longo. Tensores crônicos perpetuam seus efeitos, o que conseqüentemente eleva os níveis de vulnerabilidade e pode causar até mesmo a morte do manguezal (SCHAEFFER-NOVELLI, 1995).

Os resultados apontaram que existem diversos tensores antropogênicos atuantes em cada localidade amostrada. Quando observados em conjunto foi possível enxergar que determinado tensor, possivelmente considerado sem importância, pode sim, ter um efeito negativo que em longo prazo eleva o nível da pressão antrópica, da sensibilidade do sistema ambiental e diminui a capacidade de resposta deste à tensão.

Assim, pode-se falar que os tipos de embarcação identificados na região, que em princípio não afetam diretamente na dinâmica do bosque de mangue, deixam de ser vistos como tensor isolado quando o condutor do barco lança resíduos no mangue, corta a madeira para facilitar o acesso no ato da coleta de mariscos, usa a madeira do mangue para construir os cercados característicos da pesca de camboa e utiliza áreas de transição entre o manguezal e restinga como ambientes de lazer, onde deixam resíduos que poluem o manguezal e os rios, comprometendo a fauna aquática, e fazem fogueiras, interferindo na composição do solo e na vegetação.

As ações supracitadas, na maioria das vezes, resultam da carência de políticas de educação ambiental voltadas para as comunidades pesqueiras, o que aumenta o nível de vulnerabilidade do tensor e faz da área um ambiente de sensibilidade moderada. Quando estes tensores associam-se à presença de tanques de carcinicultura nas proximidades da área de coleta, no estuário inferior, à exploração imobiliária, associada especialmente ao turismo, e à presença da ponte Gilberto Amado, que liga Sergipe ao litoral da Bahia, inaugurada em janeiro de 2013 pelos governos federal e estadual, o comprometimento das áreas de manguezal torna-se ainda mais significativo.

A construção da ponte gera impactos em escalas e magnitudes que envolvem o meio biótico e humano. No ato da construção do empreendimento, este tensor provocou o desmate de áreas de manguezal, em virtude da necessidade de construção dos pilares de sustentação.

A magnitude da presença da ponte obriga toda fauna a movimentar-se de sua área atual para outra e coloca em risco a sobrevivência de animais sésseis, como as ostras, arborícolas (aratus-do-mangue, caranguejos-marinheiro), rastejadores (caramujo-do-mangue), escavadores (caranguejo-chama-maré, caranguejo-uçá, guaiamuns), voadores (insetos e aves), natantes (variados tipos de peixes) e os oportunistas, que visitam a área em busca de alimento, de descanso, ou até mesmo como lugar para reprodução (cobras, jacarés, golfinhos, peixe-boi-marinho, entre outros organismos).

Do ponto de vista físico, um empreendimento, como o construído, contribui para o aumento de processos erosivos e geração de impactos negativos que afetam todo o complexo estuarino. Socioeconomicamente, se por um lado, a construção da ponte ampliou o turismo, que é mais um ponto de tensão, por outro, as populações ribeirinhas tiveram suas áreas de coletas reduzidas, o que as tornaram obrigadas a realizar a extração do alimento em outras regiões. Tal ação pode gerar sobrecarga na extração dos recursos oferecidos pelos manguezais em outras localidades.

Ademais, as obras de terraplanagem e pavimentação asfáltica são intensificadoras da tensão antrópica. Elas podem desencadear processos de assoreamento do complexo estuarino como um todo e afetar, tanto a vida aquática, como a do homem, que depende da navegação para coletar seus objetos de sobrevivência.

Ressalta-se que, ecossistemas que compõem a feição paisagística litorânea, associados aos manguezais, a exemplo das dunas, também sofrem com o desmate da área. E, como mais um resultado da ação do tensor mencionado, a topografia e o relevo desses ambientes litorâneos são alterados.

À vista disso, a pressão de vários fatores antrópicos cresce de tal maneira que a sensibilidade eleva-se e o sistema ambiental pode não resistir ao conjunto de tensores ao ponto de desaparecerem em um futuro próximo. Por estas razões, a forte vulnerabilidade é a marca do estuário inferior no complexo estuarino Real-Piauí-Fundo.

No estuário médio, a formação de ilhas e o acesso limitado ao homem são barreiras que fazem desta localidade ambiente de moderada vulnerabilidade. No geral, a localidade é marcada pela presença de comunidades pesqueiras que utilizam a área para sobrevivência, mas não têm a informação necessária acerca dos cuidados que devem ser mantidos para garantir a vida da fonte de sobrevivência das próprias comunidades: o manguezal.

Mais uma vez, ressalta-se a necessidade de desenvolvimento de estratégias voltadas para ações ambientais junto às comunidades. Contudo, avançar neste sentido requer o intercâmbio entre a academia, o poder público e as comunidades. O interesse dos gestores públicos é um passo fundamental para a transformação do cenário de degradação do manguezal do litoral sul.

Saliente-se que no estuário médio ocorre o tombamento de árvores de *R. mangle* na franja do rio e *A. schaueriana* nos bosques mais internos. Porém, ainda que

este tensor natural seja classificado no nível 2 de vulnerabilidade, 14, dos 17 tensores identificados em campo, são de caráter antrópico e o tombamento de algumas árvores está associado à dinâmica natural do próprio litoral, principalmente em decorrência dos ventos.

O estuário superior foi revelado como setor de sensibilidade extrema e, conseqüentemente, como o de maior vulnerabilidade, caracterizado pelo nível 4. Dos 17 tensores, 16 estão presentes no estuário superior, indicando comprometimento do manguezal e preocupação quanto ao destino do ecossistema.

A cada trabalho de campo realizado novos tensores eram identificados e no mês de fevereiro de 2015 áreas no município de Itaporanga D'Ajuda foram flagradas em processo de aterramento. Assim, além das áreas de manguezal que deram lugar aos condomínios de luxo e aos viveiros de camarão, o aterramento para exploração imobiliária é cada vez mais contínuo, realidade que transforma áreas públicas em privadas, impossibilitando o uso comum pela população e, entre outros fatores, geram sobrecarga sobre o sistema ambiental.

Não menos impactante do que as obras referidas, a prática da carcinicultura é outro tensor que compromete a manutenção de áreas do ecossistema, principalmente no estuário superior. A ampliação de áreas de viveiro de camarão tem se tornado uma constante observada na área. Segundo Wanderley e Santos (2007), a bacia Piauí-Real possui atrativos para ampliação das práticas de carcinicultura devido à densidade de rede hidrográfica que compõe a bacia, com 62% de áreas adequadas para construção de viveiros, em relação às outras quatro bacias do estado. Dessas áreas, os maiores empreendimentos, encontram-se instalados no município de Estância (Ibid), fator constatado durante a observação sistemática em campo.

Dentre os principais impactos que se pode esperar desse tensor antropogênico são: o desmatamento de áreas de mangues para instalação das bombas que captam água para os tanques; a supressão da cobertura vegetal para construção de estruturas de apoio e conseqüentemente destruição dos habitats da fauna aquática; hipernitrificação da água do corpo hídrico receptor dos efluentes, em virtude da quantidade de ração e fezes dos organismos cultivados que são jogadas dentro dos corpos líquidos; alteração no fluxo normal das marés; sedimentação do corpo hídrico alimentador em contraste à erosão de áreas de manguezal; salinização do lençol freático (Ibid), dentre outros fatores impactantes que podem surgir de acordo com a intensidade do tensor.

Além disso, outra consequência socioambiental da atuação deste tensor é a ampliação dos conflitos do uso de solo. Dentre eles, o que compromete a sobrevivência de comunidades ribeirinhas. Nesse processo, pescadores, marisqueiras e outros catadores, perdem áreas de atuação e obrigam-se a procurar outras áreas de manguezal.

Apesar dos benefícios socioeconômicos fornecidos pelo turismo às populações, dentre eles, a geração de renda para a comunidade local que trabalha diretamente com o comércio, são diversos os tensores aos quais os ambientes de manguezal estão submetidos com a ampliação do turismo não sustentável. Um deles refere-se à poluição por resíduos sólidos urbanos. Com as potencialidades naturais do litoral sul, que atraem o setor turístico, além da poluição do ar e dos rios provocadas pelo aumento do tráfego de veículos, o aumento do número de pessoas com acesso às áreas do complexo estuarino, para desfrutar do lazer oferecido pelas paisagens do sul sergipano, tornou-se um tensor altamente associado ao acúmulo de resíduos sólidos, que são deixados, em muitas das vezes, pelos turistas. Saliente-se que a população local também descarta os resíduos nos momentos do lazer, mas esta ação é potencializada com a presença de turistas e a ausência de um trabalho efetivo de educação ambiental na localidade. Os pescadores que acompanharam este trabalho relataram que os resíduos são deixados por aqueles que utilizam a área como ambiente de lazer. Ao longo do complexo estuarino, foi possível observar registros de resíduos de natureza diversa. Quando jogados nos mangues, a fauna residente é prejudicada, a flora fica submetida aos produtos que são lançados no solo e são decompostos e, no sobe e desce de marés, os resíduos são levados para rios e mares onde podem ser confundidos como alimento por animais que ingerem o resíduo e podem vir a óbito por conta do desencadeamento de processos infecciosos. Além disso, a paisagem sofre descaracterização e fica comprometida com a presença de resíduos sólidos.

Pode-se inferir ainda que as variações de sensibilidade de cada estuário apresentadas (moderada – estuário médio, elevada – estuário inferior, e extrema – estuário superior) resultam do sinergismo dos tensores de cada localidade. Por esta razão, os fatores antrópicos sempre devem ser analisados em conjunto, uma vez que, é a associação simultânea da união de tensores que caracteriza um sistema ambiental (GALLOPÍN, 2003), como revelaram os resultados deste artigo para os bosques de mangues do complexo estuarino Real-Piauí-Fundo.

O comprometimento dos mangues também coloca em risco de desaparecimento os processos ecológicos do ecossistema manguezal e dos sistemas costeiros interdependentes. Nesse contexto, o quadro 5.7 ratifica a relação existente entre o sinergismo dos tensores antrópicos, a sensibilidade das áreas amostradas e os potenciais efeitos danosos aos processos ecológicos de todo o ecossistema.

O comportamento plástico das espécies de mangue observado no capítulo quatro teve como objetivo verificar a ocorrência de variações de forma e tamanho das folhas nos estuários inferior, médio e superior do complexo estuarino Real-Piauí-Fundo. Como resposta, os resultados apontaram que, mesmo em uma microescala, ao considerar um complexo estuarino, existem tendências de variação na anatomia das folhas, tanto para a forma como para o tamanho, ao longo do estuário. Além disso, o trabalho científico mostrou que existe uma relação de interdependência entre características abióticas e variações de forma e tamanho das folhas.

Consequentemente, se as populações de mangues estão sujeitas às pressões seletivas do ambiente de cada estuário, as quais promovem respostas morfoanatômicas diferentes nas folhas da *A. schaueriana*, *L. racemosa* e *R. mangle*, como aconteceu na análise de fatores abióticos, era esperado que as plantas, por serem sensíveis ao estresse ambiental, confirmassem a sensibilidade mediante a existência de tensores antrópicos. Consoante Gratani (2014), o ambiente é responsável pela indução de respostas por parte dos indivíduos, as quais se manifestam em nível morfológico ou fisiológico. Esta é a estratégia de sobrevivência das espécies, ressalta a autora.

Na perspectiva da análise, os resultados da avaliação de significância dos fatores abióticos para a forma e tamanho das folhas das três espécies, obtidos no capítulo quatro da tese, corroboram com os resultados deste artigo científico, uma vez que os dois trabalhos mostram que a *R. mangle*, dentre as três, é a que tem maior possibilidade de desenvolver-se em uma variedade de condições, por seus valores de p com maior significância ($p < 0.01$) para as características analisadas, do que as outras espécies. Isso permite confirmar que ela tem maior plasticidade fenotípica e por esta razão, é chamada de generalista.

Apesar disso, destaque-se a *A. schaueriana* também apresentou valores de p significativos ($p < 0.05$), o que demonstra que a espécie apresenta variações morfoanatômicas na folha que também dependem do estressor antrópico. É importante ressaltar que o citado trabalho de morfometria foliar mostrou que para a realização das

análises pretendia-se coletar 200 folhas em cada localidade de mangue amostrada. Assim, foram escolhidas 20 árvores sadias das quais se retiraram 10 folhas, totalizando em 600 folhas por espécie. Contudo, no estuário superior foram encontradas apenas 5 árvores de *A. schaueriana*, pois, em meio aos fatores ambientais e aos tensores naturais e antrópicos, que interferem na dinâmica do manguezal, a espécie não encontra condições favoráveis ao seu desenvolvimento nesta localidade. Este resultado permitiu concordar com o trabalho de morfometria de mangues dos autores, quando estes afirmaram que *A. schaueriana* pode ser considerada como especialista.

Logo, o aumento de pressões antrópicas, transformadores da dinâmica natural dos mangues, constitui um ponto de gatilho que interfere na distribuição das espécies de mangues e na constituição dos bosques. Além disso, podem ser as responsáveis pela destruição dos mangues e substituição destes por outras feições paisagísticas.

Por outro lado, apesar da morfometria foliar não ter revelado variações foliares nas folhas de *L. racemosa* ($p>0.05$), é preciso considerar que por viverem em um ambiente extremamente dinâmico e que exige características plásticas das plantas, novas investigações, a luz da fisiologia da planta em relação às condições ambientais, podem ser fundamentais para comparar os setores do complexo estuarino e fornecer novos resultados que subsidiem novas ações ligadas à conservação dos mangues.

Nesse contexto, durante os trabalhos de campo não foi observada fiscalização ambiental por parte de órgãos competentes. Esta realidade é preocupante para a condição de sobrevivência e proteção do manguezal do litoral sul, mesmo situado dentro dos limites de uma APA. Os mangues do complexo estuarino Real-Piauí-Fundo não refletem resultados satisfatórios quanto à conservação do ecossistema. Esta situação é fruto da falta de comprometimento dos gestores da Unidade de Conservação e da carência de fiscalização ao longo do estuário. Não se tem notícia de nenhum trabalho de educação ambiental com as comunidades pesqueiras que usam o rio e não se sabe como é possível ver um conjunto de tensores antrópicos atuantes, sem algum obstáculo que intervenha na destruição dos mangues.

Desse modo, se as áreas que estão abrangidas pelos limites da APA mostram-se vulneráveis, mesmo sendo protegidas pelo Código Florestal e pelo SNUC, mais preocupante é a situação dos mangues que não estão inclusos dentro da Área de Proteção Ambiental. Conforme os resultados deste trabalho, os mangues fazem parte

das áreas de vulnerabilidade extrema e como tal, têm chances significativas de desaparecerem caso nenhuma medida seja tomada.

A realidade constatada tem uma causa significativa: o sistema de proteção dos manguezais tem sido ineficaz e ineficiente para conservação do sistema ambiental costeiro.

5.5 IMPLICAÇÕES PARA A CONSERVAÇÃO DOS MANGUES

A proteção dos manguezais do Brasil é algo limitado. Apesar dos aparatos legais criados para reduzir a degradação destes sistemas ambientais, parece haver um real retrocesso diante da continuidade e crescimento das pressões antropogênicas que podem se investigadas em escala local, regional e global.

As áreas protegidas ou não têm recursos ou são mal administradas. Diante disso, não se tem fiscalização e, conseqüentemente, muitas áreas são continuamente degradadas. Isso explica o fato de áreas de manguezal incluídas na APA do litoral sul em Sergipe alcançar níveis de vulnerabilidade elevada, comprometendo a existência do sistema ambiental. Em contrapartida, não estar dentro da APA aumenta a expectativa de perda do manguezal do estuário superior, no complexo estuarino Real-Piauí-Fundo, diante da vulnerabilidade extrema.

Diante do cenário, faz-se necessário ampliar o intercâmbio de ações socioambientais entre a academia, o poder público e a sociedade para que se possa investir em políticas públicas e ações voltadas para a proteção efetiva dos manguezais, bem como fazer novos estudos científicos que permitam rever os limites da delimitação atual da APA ou até mesmo propor outra categoria de Unidade de Conservação que atenda aos anseios da conservação da dinâmica ecossistêmica dos manguezais.

REFERÊNCIAS

- ADGER, W. N. Vulnerability. **Global Environmental Change**, v. 16, p. 268-281, 2006.
- BURCHETT, M.D. et al. Growth and respiration in two mangrove species at a range of salinities. **Physiol. Plant.** v. 75. p. 299–303.1989.
- BRASIL. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Análise da vulnerabilidade ambiental**. Fortaleza : Embrapa Agroindústria Tropical, 2010.
- BRASIL. **Lei nº 9.985, de 18 de Julho de 2000. Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC)**. Brasília, jul. 2000.
- BRASIL. WW-F BRASIL.2009. **WWF-Brasil disponibiliza resultados de oficina sobre adaptação**. Disponível em: <http://www.wwf.org.br/?21160/wwf-brasil-disponibiliza-resultados-de-oficina-sobre-adaptacao>. Acesso em 8 out. 2015.
- DUKE, N.C. Phenological trends with latitude in the mangrove tree *Avicennia marina*. **J. Ecol.** p. 78:113–133,1990.
- ESRI, **ArcGis** 10.1. Geographical Information System. Environment System Research Institute, Inc. Readlands, C.A, 2010.
- GALLOPÍN, G. C. A systemic synthesis of the relations between vulnerability, hazard, exposure and impact, aimed at policy identification. In: **Economic Comission for Latin American and the Caribbean (ECLAC). Handbook for Estimating the Socio-Economic and Environmental Effects of Disasters**. ECLAC, LC/MEX/G.S., Mexico, D.F., p. 2-5. 2003.
- GALLOPÍN, G. C. Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity. **Global Environmental Change**. v. 16, n.3, p. 293-303, 2006.
- GRATANI, L. Plant Phenotypic Plasticity in Response to Environmental Factors. **Advances in Botany**. v. 2014, 2014.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Climate Change 2007: the physical science basis. In: Solomon, S. et al. (Eds). **Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**.Cambridge, UK: IPCC, p. 1–996, 2007.
- KLINGENBERG, C. P. MORPHOJ: an integrated software package for geometric morphometrics. **Molecular Ecology Resources**. v.11(2):353-7, 2011.
- LARANJEIRA, M. **Vulnerabilidade e Gestão dos Sistemas Dunares, o caso das Dunas de Mira**. Dissertação de Mestrado em Ordenamento do Território e Planeamento Ambiental. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade Nova de Lisboa, Monte de Caparica. 104 p. 1997.
- MARCONI, M. de A; LAKATOS, E. M. **Técnicas de Pesquisa: planejamento e execução de pesquisas, amostragens e técnicas de pesquisa, elaboração, análise e interpretação de dados**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2009.
- OLIVEIRA, A. C. de A.; MELO e SOUZA, R. Análise ecodinâmica dos sistemas dunares costeiros do litoral sul de Sergipe. In: VILAR, J. W. C.; ARAÚJO, H. M (org).

Território, meio ambiente e turismo no litoral sergipano. São Cristóvão: Editora UFS, 2010.

PRATES, A.P; GONÇALVES, M.A; ROSA, M. **Panorama da Conservação dos ecossistemas Costeiros e Marinhos no Brasil.** 2 ed. rev. ampliada - Ministério do Meio Ambiente. Brasília, MMA. 2012

SANTOS, M. M.; WANDERLEY, Potencialidades e Restrições da Carcinicultura no Litoral de Sergipe. In: VILAR, J. W. C.; ARAÚJO, H. M (org). **Território, meio ambiente e turismo no litoral sergipano.** São Cristóvão: Editora UFS, 2010.

SANTOS, M.M. **A produção do espaço pela carcinicultura no litoral sul de Sergipe: potencialidades, restrições e impactos ambientais.** Tese (Doutorado em Geografia). Núcleo de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão, Sergipe. 2008.

SCHAEFFER- NOVELLI, Y. (coord.). Manguezal: Ecossistema entre a Terra e o Mar. São Paulo: **Caribbean Ecological Research.** 1995.

SMIT, B. WANDEL, J. Adaptation, adaptative capacity and vulnerability. **Global Environmental Change.** v.16, n.3, p. 282-292, 2006.

SUPERINTENDÊNCIA DE RECURSOS HÍDRICOS – SRH/ SUPLANTAR/SE. Atlas Digital sobre Recursos Hídricos. CD-rom, 2014.

TOMLINSON, P. B. **The Botany of Mangroves.** New York: Cambridge University Press, 1986.

TURNER II.; B.L.; KASPERSON, R. E.; MATSON, P. A., et al. A framework for vulnerability analysis in sustainability science. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. 100, n.14, p. 8074-8079. 2003.

WANDERLEY, L. DE L.; SANTOS, M. M. A carcinicultura no litoral sul de Sergipe: aspectos ambientais e econômicos. **Geonordeste.** ano XVIII, nº 2. 2007.

CONCLUSÕES E SUGESTÕES

CONCLUSÕES E SUGESTÕES

A natureza fez do emaranhado de raízes do gênero *Rhizophora* e do tapete de pneumatóforos dos gêneros *Laguncularia* e *Avicennia*, o habitat de muitas espécies da fauna aquática. A calma e a riqueza singular do manguezal fornecem o suporte físico necessário para as espécies aquáticas que precisam deste sistema ambiental para reproduzir-se, abrigar-se, alimentar-se e sobreviver em meio à dinâmica e competição dos mares e rios. Tais assertivas são suficientes para intitular o manguezal como *berçário da biodiversidade aquática*.

As condições climáticas constituem o ponto chave para distribuição da floresta de mangues. Apesar dos intensificados estudos científicos voltados para a distribuição dos manguezais no Brasil, o entendimento da dinâmica distributiva desses ambientes, fundamentais à vida aquática e humana, ainda é algo que precisa ser revisado com cautela, até mesmo para entender as principais condicionantes histórico-naturais que determinam a permanência dos manguezais em microescala.

Isto posto, justificou-se responder à primeira questão de pesquisa proposta: *De que maneira as mudanças climáticas e de nível relativo do mar interferem na dinâmica distributiva das espécies de flora nativa de manguezais do norte-nordeste brasileiro, considerando a escala temporal: passado (6.000 A.P), presente (2015) e futuro (2050)?*

Para responder a esta indagação o trabalho foi construído a partir do uso da modelagem de distribuição potencial de espécies, como metodologia utilizada para avaliação de áreas de adequabilidade de ocorrência de mangues em 6.000 A.P, 2015 e 2050. Como resposta, os modelos apresentaram de forma preditiva a dinâmica de expansão e redução de áreas de adequabilidade em períodos distintos. Tal predição sugeriu que, investigações de campo profundas precisam ser feitas para monitorar as mudanças climáticas e a colonização dos mangues nas regiões norte e nordeste do Brasil. Dessa forma, é possível reconstruir a história natural e ecológica dos ambientes, entender os fenômenos do presente e subsidiar ações de conservação dos mangues, a fim de evitar novas perdas futuras do ecossistema como um todo.

Para tanto, considere-se que, apesar da influência expressiva das condições climáticas, a interferência de outros fatores abióticos é decisiva para a distribuição da flora do manguezal. Ao inserir os manguezais de Sergipe nesse contexto, o estado nordestino detém levantamento de todas as áreas de bosques de mangues, porém, não possui sistema de monitoramento das florestas e tem grande parte das suas investigações ligadas ao estudo da estrutura florística e fitossociológica dos bosques. Isso demonstra a carência de análises no âmbito da plasticidade fenotípica dos mangues em relação às diversas pressões ambientais.

Emergiram daí duas questões de pesquisa: a) *ocorre variação de forma e tamanho das folhas dos mangues ao longo do complexo estuarino Real-Piauí-Fundo em função da diferenciada zonação?* b) *A plasticidade fenotípica das folhas das espécies de mangues está relacionada aos componentes do sedimento, à salinidade da água e ao clima, típicos do complexo estuarino?*

A investigação revelou que, mesmo em microescala, os estuários inferior, médio e superior apontaram tendências de variação de forma e tamanho das folhas, entre as localidades amostradas, para as espécies de *A. schaueriana*, *L. racemosa* e *R. mangle*. Além disso, a pesquisa mostrou que existe uma dependência direta entre as características abióticas dos componentes do sedimento, variáveis climáticas e salinidade da água e as variações de forma e tamanho das folhas. Desse modo, a avaliação destes componentes abióticos foi complementar tanto para caracterização das localidades amostradas, como no auxílio da compreensão da plasticidade fenotípica foliar dos mangues, por meio das análises morfométricas.

A interdependência, principalmente ligada à forma foliar, indicou a existência da plasticidade fenotípica dos mangues, mesmo em microescala. Além disso, a *R. mangle* foi a espécie que mais apresentou sensibilidade às características analisadas, representando entre as três espécies, a que melhor expressou capacidade de resposta aos fatores ambientais analisados

Dessa maneira, o uso das técnicas de morfometria para análise da plasticidade fenotípica apontou que os mangues dos estuários inferior, médio e superior possuem identidade própria expressa na forma das suas folhas, as quais variam em função das pressões ambientais a que estão submetidas. Logo, a forma foliar constitui um indicador ecológico da situação ambiental em que se encontram os bosques de mangues e pode

representar uma importante ferramenta de análise e monitoramento para conservação dos manguezais em quaisquer ambientes de investigação do ecossistema.

Sob outra perspectiva, apesar de ser de interesse comum proteger a natureza e seus processos ecológicos, este entendimento na maioria das vezes é ultrapassado pelos interesses econômicos. O litoral brasileiro perde áreas de bosques de mangues desde o século XVI e nenhuma das regiões do país que abriga manguezal foge à regra da destruição ecossistêmica. Por conseguinte, a efetividade da prática legislativa consiste no ponto crucial para a conservação dos manguezais brasileiros. Mas as falhas da fiscalização ambiental e os problemas administrativos fazem dos manguezais ambientes permanentemente ameaçados.

Sergipe faz parte deste contexto. Faixas cobertas por florestas de mangues ou foram extintas, ou reduzidas ou estão comprometidas. Neste último caso, estão inseridos os mangues do complexo estuarino Real-Piauí-Fundo, os quais, mesmo protegidos teoricamente pelo Código Florestal, lei de nº 12.651/12 (BRASIL, 2012) e pela Unidade de Conservação de Uso Sustentável, Área de Proteção Ambiental do Litoral Sul, sofrem ameaças antrópicas diversas.

Nesse contexto, a análise relacional dos tensores antropogênicos e da plasticidade fenotípica dos mangues, foi contemplada pelas questões: a) *Em que medida de vulnerabilidade os tensores antropogênicos do complexo estuarino Real-Piauí-Fundo interferem na flora do manguezal pesquisado?* b) *Existe relação entre a atuação de tensores antropogênicos e respostas plásticas da forma e tamanho das folhas de mangue?*

A pesquisa indicou que as variações de sensibilidade das áreas amostradas decorreram do sinergismo dos tensores de cada localidade. Nesse ângulo, a potencialidade econômica do litoral sul e a falta de políticas de conservação efetivas são as principais responsáveis pelos níveis de vulnerabilidade do complexo estuarino, que variam entre moderada e extrema. A plasticidade fenotípica, por sua vez, também reforçou a existência de uma relação direta entre tensores antropogênicos e a forma e tamanho das folhas de mangues, principalmente para *R. mangle*, a qual demonstrou em todas as investigações morfométricas da tese o maior potencial plástico dentre as três espécies.

Respostas como as apresentadas nesta tese também revelaram que, além da vulnerabilidade dos bosques de mangues sujeitos aos fatores antrópicos, processos ecológicos de todo o ecossistema podem ser afetados, quando comprometidos em seus fatores estruturais. Como resultado, o sinergismo dos tensores antropogênicos pode provocar o desaparecimento de organismos aquáticos, que dependem dos manguezais para sobreviver, e extinguir ambientes produtivos que garantem a sobrevivência, direta ou indireta, de populações humanas.

Sugere-se, portanto, que o modelo de conservação vigente no litoral sul, baseado na existência de uma Unidade de Conservação de Uso Sustentável, não fiscalizada e com problemas na gestão, por ser ineficaz e ineficiente, compromete a existência de todo o manguezal da área.

Por isso, os resultados apontaram que outras medidas precisam ser tomadas em conjunto para frear a degradação ambiental da área pesquisada.

- Integração entre as iniciativas do Município, do Estado e de Instituições de Pesquisa voltadas para a conservação;
- Revisão dos limites da Unidade de Conservação, Área de Proteção Ambiental do Litoral Sul;
- Revisão da efetividade da UC de Uso Sustentável para conservação dos manguezais – APA do Litoral Sul;
- Estímulo à participação comunitária nos processos decisórios voltados para a conservação da biodiversidade local;
- Monitoramento de políticas públicas voltadas para a Educação Ambiental;
- Aplicação de legislação rigorosa, incentivos, multas, monitoramento ambiental, com o objetivo de despertar o compromisso ético ambiental dos atores sociais;
- Traçar planos estratégicos de monitoramento e conservação dos mangues.

A contribuição final desta tese, em síntese, refere-se ao fornecimento de subsídios de incentivo, a médio e longo prazo, para o monitoramento dos bosques de mangues de Sergipe, a partir do uso de técnicas de morfometria geométrica; e à possibilidade de replicação das metodologias utilizadas, tanto para análise da plasticidade fenotípica, como para averiguação da vulnerabilidade dos mangues.